

DCN 96-017-21-05
RCN 670-017-21-04

MANUALES DEL PROGRAMA DE INVENTARIOS DE EMISIONES DE MEXICO

VOLUMEN IV - DESARROLLO DEL INVENTARIO DE FUENTES PUNTUALES

Elaborado para:

La Asociación de Gobernadores del Oeste
Denver, Colorado

y

El Comité Asesor Binacional

Elaborado por:

Radian International
10389 Old Placerville Road
Sacramento, CA 95827

Agosto 15, 1996

PREFACIO

La contaminación del aire puede tener impactos negativos sobre la salud pública cuando su concentración en la atmósfera alcanza niveles significativos. En la mayor parte de las áreas rurales los problemas de calidad del aire se dejan sentir sólo en raras ocasiones mientras que muchos ambientes urbanos con frecuencia registran elevadas concentraciones de contaminantes. Durante los últimos años, México ha tenido un gran crecimiento en la urbanización y en la actividad industrial, lo que ha generado serias preocupaciones acerca de la calidad del aire en diversas regiones del país.

La contaminación del aire resulta de una compleja mezcla de, literalmente, miles de fuentes, que van desde las chimeneas industriales y los vehículos automotores, hasta el uso individual de productos de aseo, limpiadores domésticos y pinturas; incluso la vida animal y vegetal puede desempeñar un papel importante en el problema. Debido a la compleja naturaleza de la contaminación del aire se requieren planes regionales detallados para identificar las fuentes de emisión, así como el desarrollo de métodos para reducir el impacto sobre la salud ocasionado por la exposición a los contaminantes. Entre algunos ejemplos de las actividades de gestión de la calidad del aire se encuentran:

- La aplicación de modelos de calidad del aire
- El examen de las fuentes emisoras de contaminantes para analizar el control de emisiones, cuando así se requiere
- El desarrollo de proyecciones de las emisiones para examinar posibles cambios en la futura calidad del aire

- El análisis de las tendencias de emisión
- El análisis del transporte de las emisiones de una región a otra.

El desarrollo de inventarios de emisión bien fundamentados es un aspecto clave en cada una de estas funciones de gestión de la calidad del aire.

El cálculo de estimaciones de emisión que cumplan con las necesidades de la gestión de la calidad del aire requiere de un desarrollo y refinamiento continuos; los esfuerzos de inventarios “de un solo paso” no son adecuados para el proceso de gestión de la calidad del aire. Para obtener un beneficio de larga duración debe instrumentarse un *programa de inventarios*, de manera que sea posible el desarrollo de estimaciones exactas de las emisiones para todas las regiones geográficas de importancia, que tengan la capacidad de ser refinadas con el paso del tiempo y que puedan aplicarse efectivamente en el proceso de gestión y monitoreo de la calidad del aire. De esta manera, se está desarrollando un conjunto de manuales de inventarios que puedan ser aplicados en todo el país para ayudar a coordinar el desarrollo de estimaciones de emisiones consistentes. Estos manuales han sido diseñados para ser utilizados por las autoridades locales, estatales y federales, así como por consultores privados e industriales. El propósito de estos manuales es ayudar en el proceso de instrumentación del programa de inventarios y en su mantenimiento a lo largo del tiempo, de manera tal que los inventarios de emisiones se puedan desarrollar en ciclos periódicos mejorándolos continuamente.

Los manuales abarcan elementos del programa de inventarios tales como la estimación de emisiones, la planeación del programa, manejo de bases de datos, validación de emisiones y otros temas de importancia. La Figura 1 muestra la serie completa de manuales que serán desarrollados para apoyar un programa de inventarios de largo alcance. A continuación se resume el propósito principal de cada manual.

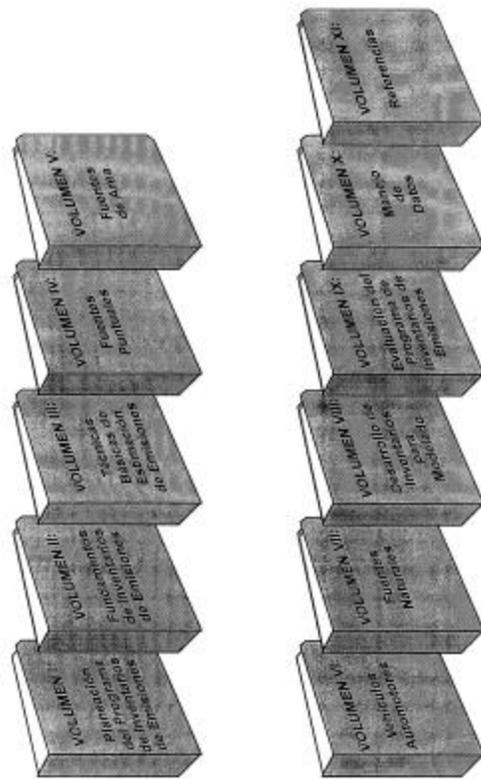


Figura 1. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México

Volumen I - Planeación del Programa de Inventarios de Emisiones. Este manual presenta los aspectos de gestión que deben ser considerados en un programa de inventario de emisiones al aire. La planeación del programa no se presenta como una actividad "terminal", sino más bien como un proceso continuo para asegurar el crecimiento en el largo plazo y el éxito del programa de inventarios. *Temas Clave:* propósito del programa; usos finales del inventario; requerimientos regulatorios; coordinación en los niveles federal, estatal y local; requerimientos de personal y de manejo de datos; identificación y selección de estudios especiales.

Volumen II - Fundamentos de Inventarios de Emisiones. Este manual presenta los fundamentos básicos para el desarrollo de inventarios de emisiones, así como los elementos que son aplicables a los diversos tipos de fuentes (e. g., puntuales y de área), para evitar la necesidad de que sean repetidos en cada volumen. *Temas Clave:* regulaciones aplicables; efectividad de la regla; penetración de la regla; definiciones sobre contaminantes (e. g., cómo excluir de manera adecuada los compuestos volátiles no reactivos); definición de fuentes puntuales y de área; reconciliación de fuentes puntuales y de área.

Volumen III - Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones (TEEs). Este documento presenta las TEEs básicas utilizadas para hacer estimaciones de emisiones, incluyendo ejemplos y cálculos como muestra. Por otro lado se identifican las herramientas para inventarios asociadas con cada metodología y se incluyen en el Volumen XI (Referencias). *Temas Clave:* muestreo en la fuente, modelos de emisiones, encuestas, factores de emisión, balance de materiales y extrapolación.

Volumen IV - Fuentes Puntuales. Este manual proporciona guías para elaborar inventarios de emisiones de fuentes puntuales. Incluye una tabla de referencias cruzadas para cada combinación de industria y tipo de dispositivo (e. g., refinación de petróleo y dispositivos de combustión), con una o más de las TEEs presentadas en el Volumen III. *Temas Clave:* tabla de referencias cruzadas; parámetros de chimenea; dispositivos de control; consideraciones de diseño y de proceso; diferencias geográficas y variabilidad en México; aseguramiento y control de calidad (AC/CC); procesos omitidos; referencias de datos y formas para recopilación de datos.

Volumen V - Fuentes de Area (incluyendo fuentes móviles que no circulan por carreteras). Este manual contiene los lineamientos para el desarrollo de inventarios de emisiones de

fuentes de área. Además de presentar información general sobre las fuentes de área, se proporciona una tabla de referencias cruzadas entre cada categoría de fuente de área (e. g., aplicación de asfalto) con una o más de las TEEs básicas incluidas en el Volumen III. Posteriormente, se discute la información específica para cada categoría de fuente definida en la tabla. *Temas Clave:* categorización y definición de fuentes de área; tabla de referencias cruzadas; factores de control; diferencias geográficas y variabilidad en México; AC/CC; referencias de datos; formas para recopilación de datos (cuestionarios).

Volumen VI - Vehículos Automotores. Debido a que los vehículos automotores son intrínsecamente diferentes a las fuentes puntuales y a las de área, tanto los métodos de estimación disponibles como los datos requeridos son también diferentes. Los modelos han sido las herramientas preferidas para estimar las emisiones de estas complejas fuentes. Muchos de estos modelos utilizan datos de pruebas extensivas aplicables a un país o a una región determinados. Este manual se enfoca principalmente en la fase de desarrollo de datos para la estimación de emisiones de vehículos automotores. *Temas Clave:* métodos de estimación disponibles; datos e información primarios, secundarios y terciarios; clasificación de fuentes; fuentes de factores de emisión; variabilidad geográfica dentro de México, AC/CC.

Volumen VII - Fuentes Naturales. Este manual proporciona los lineamientos para el desarrollo de inventarios de emisiones de fuentes naturales (e. g., compuestos orgánicos volátiles biogénicos [COVs] y óxidos de nitrógeno [NO_x]) en suelos. Además, incluye los aspectos teóricos de los cálculos de emisiones y la discusión de modelos específicos. *Temas Clave:* clasificación y definición de fuentes; mecanismos de emisión; algoritmos básicos de emisión; determinación de biomasa; desarrollo de datos de uso y cobertura del suelo; ajustes temporales y meteorológicos; enfoques para el cálculo de emisiones.

Volumen VIII - Desarrollo de Inventarios para Modelado. Este manual proporciona los lineamientos para el desarrollo de datos de inventarios que serán utilizados en modelos de calidad del aire, y trata aspectos tales como la localización temporal y espacial, la especiación y la proyección de estimaciones de emisiones. *Temas Clave:* definición de términos de modelado; ajuste estacional; localización temporal y espacial; especiación química y proyecciones (factores de crecimiento y control).

Volumen IX - Evaluación del Programa de Inventarios de Emisiones. Este manual consta de tres partes: AC y CC, análisis de incertidumbre y verificación de emisiones. La parte de AC y CC define el programa global de aseguramiento y control de calidad, y ha sido escrito para complementar los procedimientos de AC y CC para fuentes específicas que se presentan en otros manuales. El análisis de incertidumbre no sólo incluye métodos para evaluar la incertidumbre en las estimaciones de emisiones, sino también para evaluar la incertidumbre en los valores de modelado tales como los perfiles de especiación y los factores de proyección de emisiones. La sección de verificación de emisiones describe varios análisis para evaluar la exactitud de las estimaciones. Los ejemplos incluyen modelos de receptores y análisis de trayectoria, combinados con técnicas específicas para el análisis de datos. *Temas Clave:* descripción de conceptos y definición de términos; protocolo de revisión de inventarios; evaluación de integridad, exactitud y consistencia; TEEs de incertidumbre recomendadas, y metodología aplicable para la verificación de emisiones.

Volumen X - Manejo de Datos. Este manual trata de las necesidades asociadas con los aspectos del manejo de datos del programa nacional de inventarios de emisiones de México. *Temas Clave:* sistemas y herramientas generales para el manejo de datos; sistemas y

herramientas de software específicos; sistemas de codificación; confidencialidad; presentación electrónica; frecuencia de actualizaciones, mantenimiento de registros; bases de datos específicas de México y reportes.

Volumen XI - Referencias. Este manual es un compendio de las herramientas que pueden utilizarse en el desarrollo de un programa de inventarios de emisiones. Se incluyen las herramientas citadas para hacer inventarios en los otros manuales (e. g., documentos impresos y electrónicos, así como modelos de computadora).

CONTENIDO

Sección	Pág.
PREFACIO	i
1.0 INTRODUCCION	1-1
2.0 ARRANQUE	2-1
2.1 Definición de Fuente Puntual	2-1
2.2 Nivel de Detalle.....	2-5
2.2.1 A Nivel de Planta	2-8
2.2.2 A Nivel de Punto de emisión o Chimenea	2-8
2.2.3 A Nivel de Proceso o Segmento	2-9
3.0 TECNICAS DE ESTIMACION DE EMISIONES RECOMENDADAS.....	3-1
3.1 Factores de Emisión	3-2
3.2 Pruebas de Fuente.....	3-6
3.3 Balance de Materiales.....	3-11
3.4 Modelos de Emisión.....	3-15
3.5 Tabla de Referencia Cruzada para la Estimación de Emisiones.....	3-16
4.0 CONSIDERACIONES ESPECIALES QUE AFECTAN LAS EMISIONES	4-1
4.1 Variabilidad por Diseño o Proceso.....	4-1
4.1.1 Características de la Combustión.....	4-1
4.1.2 Materias Primas.....	4-6
4.1.3 Prácticas de Operación.....	4-6
4.1.4 Edad del Equipo.....	4-7
4.1.5 Datos Meteorológicos y Climatológicos.....	4-8
4.2 Fuentes de Emisión Típicamente Omitidas	4-8
4.2.1 Equipo de Proceso Alimentado con Combustible	4-9
4.2.2 Fuentes de Emisiones Fugitivas.....	4-9
4.2.3 Equipo de Control	4-11
4.2.4 Uso Misceláneo de Solventes	4-11
4.2.5 Emisiones Vehiculares en Sitio	4-11

4.2.6	Aditivos del Proceso	4-12
4.2.7	Pilas de Almacenamiento.....	4-12
4.2.8	Manejo de Materiales.....	4-12
5.0	EQUIPO DE CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE.....	5-1
5.1	Efectividad del Control	5-1
5.1.1	Eficiencia de Captura.....	5-2
5.1.2	Eficiencia del Equipo de Control	5-2
5.2	Descripción de los Equipos de Control	5-5
5.2.1	Ciclón	5-5
5.2.2	Filtro de Tela.....	5-5
5.2.3	Precipitador Electrostático	5-6
5.2.4	Lavador (scrubber).....	5-6
5.2.5	Absorción.....	5-6
5.2.6	Adsorción.....	5-7
5.2.7	Condensación	5-7
5.2.8	Incineración	5-7
5.2.9	Reducción Selectiva	5-8
6.0	PARAMETROS DE CHIMENEA	6-1
6.1	Localización de la Chimenea.....	6-2
6.1.1	Global Positioning System (GPS) (<i>Sistema de Posicionamiento Global</i>)	6-2
6.1.2	Datos de Estudio previos y Mapas CAD	6-2
6.1.3	Mapas Topográficos.....	6-3
6.2	Altura de la Chimenea.....	6-3
6.2.1	Clinómetro	6-4
6.2.2	Medición Directa	6-6
6.2.3	Diagramas Arquitectónicos e Ingenieriles.....	6-6
6.3	Diámetro de la Chimenea.....	6-6
6.4	Temperatura	6-7
6.5	Velocidad de Salida.....	6-7
6.6	Tasa de Flujo Volumétrica.....	6-8
7.0	ASEGURAMIENTO DE CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD	7-1
7.1	Declaración de los Objetivos de Calidad de los Datos	7-4
7.2	Indicadores de Calidad de los Datos.....	7-5
7.3	Procedimientos AC/CC para Métodos específicos de Estimación de Emisiones.....	7-7

7.3.1	Pruebas de Fuente.....	7-7
7.3.1.1	Análisis del Error	7-8
7.3.1.2	Flujo vs. Diámetro de la Chimenea.....	7-9
7.3.1.3	Flujo vs. Presión de Velocidad.....	7-11
7.3.2	Factores de Emisión	7-11
7.3.3	Balace de Materiales.....	7-14
7.3.4	Modelos de Emisión.....	7-15
8.0	PROCEDIMIENTOS DE CODIFICACIÓN DE DATOS.....	8-1
8.1	Códigos de Identificación de Establecimientos	8-1
8.2	Procedimientos de Codificación de Datos del SNIFF.....	8-2
8.3	Códigos de Clasificación de Fuentes.....	8-4
9.0	RECOPIACION DE INFORMACION	9-1
9.1	Cuestionario General.....	9-1
10.0	Referencias.....	10-1
APENDICE IV-A:	PROCESO DE DESARROLLO DEL INVENTARIO DE FUENTES PUNTUALES DEL INE	
APENDICE IV-B:	DATOS MISCELANEOS Y FACTORES DE CONVERSION	
APENDICE IV-C:	EXTRACTO DEL <i>PROTOCOLO PARA LA ESTIMACION DE EMISIONES POR FUGAS EN EL EQUIPO DE 1995</i>	
APENDICE IV-D:	EJEMPLO DE LISTA DE REVISION DE CONTROL DE CALIDAD	
APENDICE IV-E:	LISTA DE CODIGOS PARA LA CLASIFICACION DE FUENTES	
APENDICE IV-F:	CUESTIONARIOS PARA FUENTES PUNTUALES DEL INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA	
APENDICE IV-G:	FORMAS PARA RECOPIAR DATOS A NIVEL DE EQUIPO.	

FIGURAS Y TABLAS

Figura		Pág.
1	Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México	iii
1-1	Proceso de Desarrollo del Inventario de Fuentes Puntuales	1-3
2-1	Ejemplo de un Estudio de Fuentes Puntuales	2-6
2-2	Diferentes Niveles del Inventario de Fuentes Puntuales.....	2-7
3-1	Ejemplos de Unidades del Factor de Emisión y Aplicaciones	3-3
3-2	Ejemplos de Balance de Materiales	3-13
6-1	Uso del Clinómetro para Medir la Altura de una Chimenea	6-5
7-1	Procedimientos de AC/CC para el Inventario de Fuentes Puntuales del INE	7-2
8-1	CCF para una Planta de Generación Eléctrica Alimentada con Carbón Bituminoso Pulverizado en un Horno de Fondo Húmedo	8-7

Tabla		Pág.
3-1	Técnicas de Estimación de Emisiones Recomendadas para las Diversas Categorías de Fuente	3-18
4-1	Capacidad de Aplicación por Regiones Geográficas y Referencia de Especificación en la NOM-086-ECOL-1994 para los Diversos Tipos de Combustible	4-4
5-1	Equipos de Control Típicos y Eficiencia de Control	5-4
7-1	Métodos para Alcanzar los Objetivos de Calidad para los Datos del Inventario de Emisiones ...	7-6
7-2	Resumen de los Criterios de Aceptación y Límites de Control para los Métodos de Muestreo Manual.....	7-8
7-3	Sensibilidad de los Resultados de las Pruebas de Emisión a los Errores Hipotéticos en las Mediciones Manuales.....	7-10
8-1	Características de Identificación del Sistema de Codificación del SNIFF	8-3
8-2	Categorías de CCF de Nivel I	8-5

ACRONIMOS

AC	Aseguramiento de calidad
BBS	Bulletin board system (<i>Sistema del Tablero de Boletín</i>)
Btu	Unidad térmica británica
CAD	<i>Computer aided design</i> (diseño auxiliado por computadora)
CC	Control de calidad
CCF	Código de Clasificación de Fuentes
CHIEF	Clearing House for Inventories and Emission Factors (<i>Centro de Información para Inventarios y Factores de Emisión</i>)
CO	Monóxido de carbono
COV	Compuesto orgánico volátil
DQI	Data quality indicator (<i>indicador de calidad de los datos</i>)
DQO	Data quality objective (<i>objetivo de calidad de los datos</i>)
dscfm	dry standard cubic feet per minute (<i>pie cubico estándar seco por minuto</i>)
dscm	dry standard cubic meter (<i>metro cúbico estándar seco</i>)
EC	Equipo de control
EIIP	Emission Inventory Improvement Program (<i>Programa de Mejoramiento del Inventario de Emisiones</i>)
ESP	Precipitadores electrostáticos
EU	Estados Unidos

FGR	Flue gas recirculation (<i>recirculación de gases de combustión</i>)
FIRE	Factor Information Retrieval System (<i>Sistema de Recuperación de Información de Factores</i>)
GPS	Global Positioning System (<i>Sistema de Posicionamiento Global</i>)
hr	Hora
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
kg	Kilogramo
km	Kilometro
l	Litro
lb	Libra
LEVD	Low Emission Vapor Degreaser (<i>Desengrasador de Vapor de Baja Emisión</i>)
LPG	Gas licuado
m ³	Metro cúbico
MCE	Monitoreo continuo de emisiones
Mg	Megagramo (i.e., 10 ⁶ g = 1 tonelada métrica)
mg	Miligramo
MP	Partículas
NH ₃	Amoniaco
NO _x	Oxidos de nitrógeno
O ₂	Oxígeno
OFA	overfire air (<i>aire de sobrefuego</i>)
PE	Punto de emisión
PM	Peso molecular
PM ₁₀	Partículas de diámetro inferior o igual a 10 micrómetros

ppbv	Partes por billón por volumen
ppmv	Partes por millón por volumen
psig	Libras por pulgada cuadrada - presión manométrica
SNIFF	Sistema Nacional de Información de Fuentes Fijas
SO ₂	Dióxido de azufre
SO ₃	Trióxido de azufre
SO _x	Oxidos de azufre
TEEs	Técnicas de estimación de emisiones
ton	Tonelada inglesa (i. e., 2,000 lb)
tonne	Tonelada métrica (i. e., 1,000 kg)
TSDf	treatment, storage, and disposal facility (<i>establecimiento para tratamiento, almacenamiento y disposición</i>)
U.S. EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i> (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos)
UE	Unidad de emisión
UNAM	Instituto de Meteorología y Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México
UTM	Mercator universal transverso

1.0. INTRODUCCION

El Artículo 17 del Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera establece que “las entidades responsables de las fuentes puntuales de jurisdicción federal deben presentar un inventario que incluya sus emisiones contaminantes a la atmósfera”. Por su parte, el Artículo 112 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, determina que los gobiernos, a nivel federal y estatal, deben crear y actualizar de manera continua el inventario de emisiones, así como prevenir y controlar la contaminación atmosférica en sus jurisdicciones, incluyendo las fuentes de emisiones de área, antropogénicas y de otros tipos.

Actualmente se está elaborando una serie de documentos que definirán los procedimientos estándar para el desarrollo de inventarios de emisiones de fuentes puntuales, de área, móviles y naturales; cuyo objetivo es proporcionar métodos costo-efectivos y confiables para elaborar inventarios e incrementar la calidad de la información que es recopilada y reportada. Por otro lado, los documentos también tienen la finalidad de constituir una guía para obtener información completa y precisa sobre las tecnologías de proceso y métodos de control de la contaminación. La aplicación de una metodología estandarizada fortalecerá la consistencia de dichas actividades entre los grupos que deberán reportar al inventario de emisiones.

Los procedimientos para elaborar un inventario de emisiones que se presentan en este volumen son específicos para fuentes puntuales, entre las que se incluyen los establecimientos, plantas o actividades para las que se tienen registros individuales de fuente en la base de datos del inventario. El volumen IV pretende familiarizar al sector industrial y a las

entidades federales, estatales y municipales con los conceptos fundamentales necesarios para desarrollar un inventario de emisiones de fuentes puntuales. El volumen III, *Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones*, presenta una introducción a la metodología para la estimación de emisiones contaminantes, e incluye ejemplos detallados que ayudarán al lector a hacer cálculos de emisiones reales.

La Figura 1.1., ilustra el proceso general de desarrollo de inventarios de fuentes puntuales, y correlaciona sus actividades con las secciones correspondientes de este documento.

El proceso para el desarrollo del inventario de fuentes puntuales del Instituto Nacional de Ecología (INE), incluido como Apéndice IV-A, muestra que en algunos casos el INE podría asumir la responsabilidad sobre los cálculos de las emisiones si éstos no fueran proporcionados o bien fundamentados por los establecimientos.

El presente manual está organizado de la siguiente manera:

- La Sección 2.0 cubre dos importantes aspectos que deben ser tratados antes de entrar en materia: la definición de "fuente puntual" y la determinación del grado de detalle del inventario.
- La Sección 3.0 incluye una breve descripción de las metodologías básicas recomendadas para estimar las emisiones contaminantes de fuentes puntuales. Adicionalmente presenta información sobre las fuentes de emisión, con el objetivo de ayudar al lector en la selección de una técnica de estimación apropiada. El Apéndice IV-B contiene un listado de los factores de conversión más comunes.

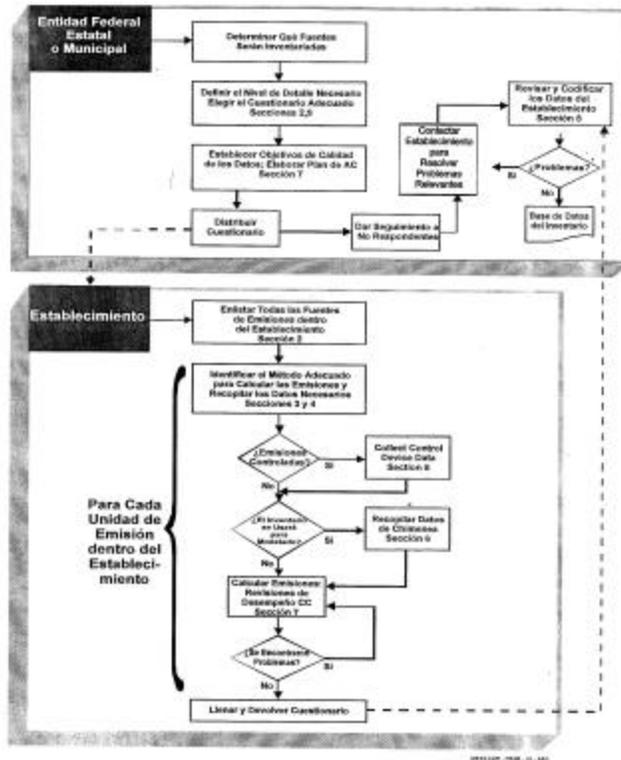


Figura 1-1. Proceso de Desarrollo del Inventario de Fuentes Puntuales

- La Sección 4.0 describe los aspectos de diseño y proceso que podrían tener influencia en las emisiones (e. g., características de los combustibles o parámetros de operación), y también presenta algunas fuentes puntuales que normalmente son omitidas durante el desarrollo de inventarios. El Apéndice IV-C contiene información sobre los procedimientos y enfoques para estimar las emisiones del componente fugitivo de las fugas del equipo.
- La Sección 5.0 presenta algunos ejemplos de equipos de control típicos y analiza su eficiencia.
- La Sección 6.0 describe la importancia de reportar información precisa sobre los parámetros de chimenea dentro del inventario, para ser utilizada en el desarrollo de inventarios de modelado.
- La Sección 7.0 analiza los procedimientos de aseguramiento y control de calidad (AC/CC). Adicionalmente, discute tanto los Objetivos de Calidad de Datos (DQO's) para los inventarios, como los métodos para lograrlos. El Apéndice IV-D incluye un ejemplo de una lista de revisión de control de calidad para apoyar al desarrollador del inventario.
- La Sección 8.0 describe los procedimientos disponibles para la codificación de datos, que deben ser utilizados en el inventario con el objetivo de asegurar que la información sean reportable, manejable y recuperable. El Apéndice IV:E proporciona una lista y descripción de los códigos para la clasificación de fuentes.
- La Sección 9.0 explica los procedimientos para la recopilación de datos. Los Apéndices IV-F y IV-G contienen el cuestionario industrial vigente del INE, y ejemplos de las formas para la recopilación de datos específicas para cada tipo de fuente, respectivamente.
- La sección 10.0 enlista las referencias y utilizadas para la elaboración de este documento.

2.0. ARRANQUE

El objetivo fundamental de un inventario de emisiones atmosféricas es organizar la información que permita a las entidades federal, estatales y municipales la planeación de estrategias para el control de emisiones, y la administración de la gestión de la calidad del aire. En el largo plazo, un inventario de emisiones puede ser un indicador de los cambios en la calidad del aire y, en general, las áreas de un inventario son definidas por los límites políticos (i. e., límites estatales o municipales).

Antes de iniciar el desarrollo de un inventario de fuentes puntuales es necesario tomar dos decisiones importantes: la primera consiste en definir claramente qué será considerado como “fuente puntual”; y la segunda, en determinar el nivel de detalle deseado.

2.1. Definición de Fuente Puntual

La división de las fuentes de emisión en “puntuales” y “de área” es arbitraria, pero se considera fundamental para la eficiente recopilación de la información que sustentará los programas de gestión de la calidad del aire. Esta división tiene implicaciones importantes tanto para el desarrollo de programas normativos, como para la determinación del volumen y tipo de información que serán necesarios para apoyar dichos programas.

El contar con información detallada sobre cada “punto” en el que las emisiones son descargadas a la atmósfera, sería sumamente deseable, dado que permitiría un entendimiento preciso de cada fuente; sin embargo, no existe una manera práctica en la que dicha información pudiera ser recopilada. Un enfoque alternativo consiste en agrupar las

fuentes relacionadas (e. g., todos los automóviles o todas las panaderías) en una sola “fuente de área”. La definición de las fuentes puntuales o de área que establece esta división es, entonces, un balance entre las necesidades de los programas normativos y los recursos disponibles para respaldar los requerimientos de los datos de estos programas.

Manejar a todos los establecimientos como fuentes puntuales podría incrementar la precisión, pero demandaría muchos más recursos para compilar y mantener el inventario.

En México, las fuentes puntuales son definidas en el Artículo 6 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente como “cualquier instalación emplazada en un solo sitio con el propósito de ejecutar operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios, o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera”.

Conforme a lo estipulado en el Artículo 11 del Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Control y Prevención de la Contaminación del Aire; y en el Artículo 29 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, todas las fuentes de jurisdicción federal son puntuales, e incluyen a:

- Todos los establecimientos, proyectos o actividades (industriales, comerciales o de servicios) que sean manejados por entidades de la Administración Pública Federal
- Las industrias controladas por el gobierno
- Los establecimientos ubicados en el Distrito Federal
- Determinadas industrias privadas (i. e., asbesto, química, petroquímica, siderúrgica, papelera, azucarera, de bebidas, cementera y automotriz, así como de generación y transmisión de electricidad)
- Las fuentes que afectan el equilibrio ecológico en un estado o país vecino.

Estos establecimientos deben solicitar una licencia de operación a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Adicionalmente, deben presentar estimados de emisiones anuales.

Algunas empresas clasificadas como microindustrias pueden estar exentas de los requerimientos de licencia y certificado de operación de las fuentes puntuales, si sus actividades se incluyen en el “Acuerdo por el que se Exceptúan del Trámite para la Obtención de la Licencia de Funcionamiento, a las Fuentes Puntuales Consideradas como Empresas Microindustriales en los Términos de la Ley en la Materia”, publicado el 17 de mayo de 1990.

Entre las diversas definiciones de fuente puntual es posible incluir las siguientes (todas las demás son consideradas como fuentes de área):

- Fuente de tipo determinado (e. g., unidad trituradora catalítica fluidizada), o de tipo y tamaño determinado (e. g., caldera con demanda de calor superior a 10,000 Btu/hr)
- Fuente con un volumen de emisiones superior a una cantidad específica determinada en alguna base consistente
- Cualquier fuente (independiente del tipo, tamaño o emisiones) que esté ubicada en una instalación de un tipo determinado (e. g., refinería de petróleo), o de un tipo y tamaño determinado (e. g., fundición de acero con una producción superior a mil toneladas anuales)
- Cualquier fuente (independiente del tipo, tamaño o emisiones) que esté ubicada en una instalación que emita más de cierta cantidad específica determinada en alguna base consistente.

Los ejemplos de una base consistente para determinar el volumen de emisiones incluyen el criterio real (lo que fue realmente emitido en un período de tiempo anterior), lo permisible (el máximo que puede ser emitido de acuerdo con los límites normativos), y lo potencial (lo que sería emitido si se operara tiempo completo sin ningún equipo de control).

Por otro lado, estas definiciones pueden variar de acuerdo con la región normativa para responder a los diferentes niveles de severidad tanto del problema de la calidad del aire, como de los programas regulatorios en cada región.

Por ejemplo, en EU se ha establecido un criterio específico para áreas que exceden las normas de concentración para el ozono o monóxido de carbono. En estas áreas, si una planta emite más de 100 toneladas anuales de óxidos de nitrógeno (NO_x) o monóxido de carbono (CO), o 10 toneladas anuales de compuestos orgánicos volátiles (COVs), debe ser incluida en el inventario de emisiones de fuentes puntuales. A los estados se les incentiva para generar inventarios que incluyan fuentes cuyas emisiones están por debajo de los niveles nacionales. La decisión para establecer niveles menores depende de numerosos factores locales, así como de los recursos disponibles para obtener y manejar los datos.

Los programas ambientales en los EU han usado frecuentemente la última definición (es decir, los umbrales de emisión a nivel de establecimiento), basada en emisiones potenciales. En la normatividad, estas fuentes se definen como “fuentes estacionarias” y están sujetas a regulaciones más estrictas que las que aplican a las fuentes con emisiones menores. La Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) de EU, ha llevado esta definición regulatoria al manejo mismo de la información. La EPA solicita a las entidades estatales que incluyan información sobre las fuentes que la regulación define como estacionarias en el capítulo de fuentes puntuales, y toda la derivada de las instalaciones restantes en el de fuentes “de área”.

En la medida en que el programa para el inventario de emisiones de México evoluciona, la definición de fuentes puntuales puede ser modificada para incluir fuentes con emisiones significativas o eliminar las que son insignificantes. El objetivo es maximizar la precisión general del extenso inventario de emisiones (i. e., fuentes puntuales, de área, vehículos automotores y naturales) dentro de los limitados recursos disponibles.

2.2. Nivel de Detalle

En general, la información sobre las fuentes puntuales es recopilada a través de inspecciones. La Figura 2-1 presenta un ejemplo del proceso de inspección. Las fuentes puntuales pueden ser inventariadas en los siguientes tres niveles de detalle, mismos que se ilustran en la Figura 2-2:

- A nivel de planta, en el que pueden incluirse diversas actividades emisoras
- A nivel de punto de emisión o chimenea
- A nivel de proceso o segmento, que representa las operaciones de la unidad de emisión de una categoría de fuentes.

Las características específicas de cada uno de estos niveles son discutidas en la siguiente sección.

Siempre que sea posible, las emisiones deben ser inventariadas en el nivel de proceso o segmento para respaldar las actividades de gestión de la calidad del aire, tales como la regulación, cumplimiento y autorización. Por ejemplo, la identificación del tipo de proceso y equipo a los que una regulación futura pudiera aplicar, y la posterior evaluación de su impacto (costos y beneficios), en general requerirían la estimación de las emisiones de cada proceso o equipo.

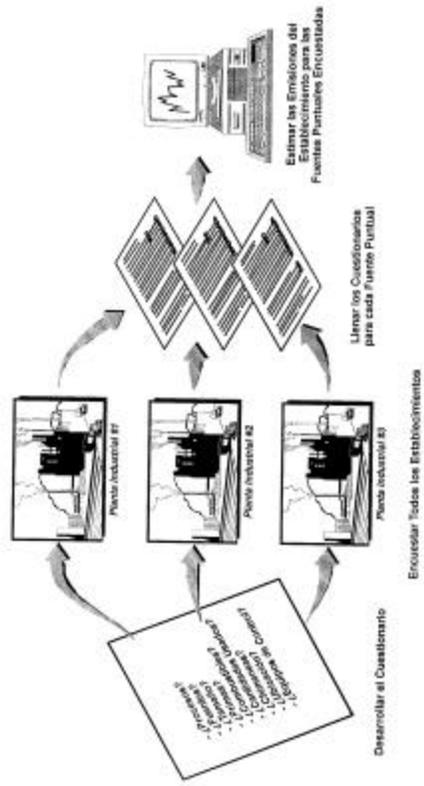


Figura 2-1. Ejemplo de Una Encuesta de Fuentes Puntuales

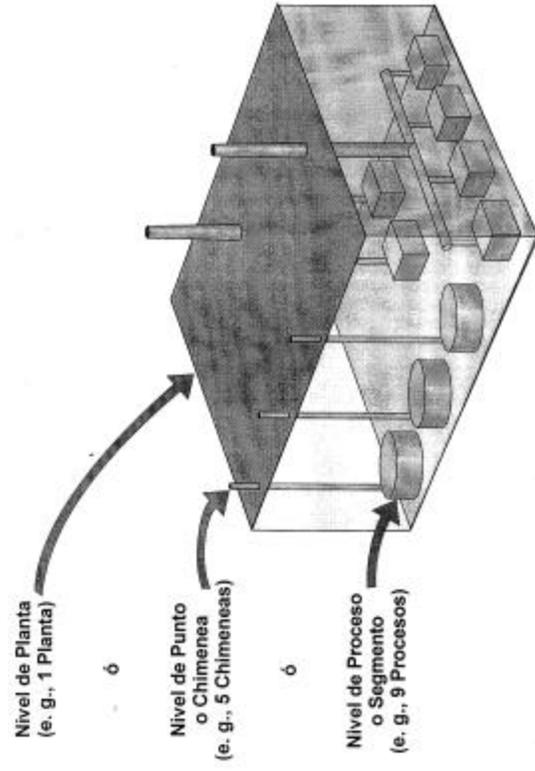


Figura 2-2. Diferentes Niveles del Inventario de Fuentes Puntuales

Otra razón igualmente importante para trabajar en este nivel de detalle es que la entidad cuente con la información requerida para verificar los estimados de emisiones proporcionados por los operadores del establecimiento.

2.2.1. A Nivel de Planta

En una inspección a nivel de planta, deben observarse los siguientes aspectos:

- Cada planta dentro del área debe ser identificada, y debe asignársele un número de identificación único (ver Sección 8.0 para mayor información sobre la asignación de números de identificación a las plantas)
- La planta debe identificarse más detalladamente con referencias geográficas, tales como estado, municipio, calle y/o dirección postal, las coordenadas del transversal universal de mercator (UTM), o la latitud y longitud (ver Sección 6.1)
- Debe identificarse un contacto en la planta para facilitar la comunicación e interacción.

2.2.2. A Nivel de Punto de Emisión o Chimenea

En las inspecciones a nivel de punto de emisión o chimenea, es importante que se observen los siguientes aspectos:

- Cada chimenea, respiradero o cualquier otro punto de emisión debe ser identificado como "punto de emisión" dentro de la planta;
- Cada chimenea, respiradero o punto de emisión debe recibir un número de identificación único dentro del inventario (ver Sección 8.0)

- La siguiente información de cada punto de emisión debe ser registrada tanto para un inventario completo, como para programas de modelado:
 - Localización (latitud y longitud o coordenadas UTM; ver Sección 6.1)
 - Altura del punto de emisión (ver Sección 6.2)
 - Diámetro del punto de emisión (ver Sección 6.3)
 - Tasa de emisiones
 - Temperatura de salida de los gases (ver Sección 6.4)
 - Velocidad de salida de los gases (ver Sección 6.5) o tasa de flujo volumétrico en el punto de emisión.

2.2.3. A Nivel de Proceso o Segmento

Una planta puede estar integrada por varios procesos u operaciones. La información necesaria para elaborar un inventario a este nivel incluye:

- Información de identificación del proceso
- Datos sobre cada nivel del proceso (e, g., materias primas, corrientes de proceso y características de los productos)
- Datos sobre la tasa de operación, incluyendo la capacidad utilizada real, máxima y de diseño
- Uso características de los combustibles (cenizas, azufre, elementos traza, contenido calorífico, etc.)
- Identificación del equipo de control de la contaminación del aire y su nivel de eficiencia de captura y control asociado (medido o diseñado);
- Identificación del método de estimación o referencia aplicado para calcular el cada estimación de emisiones
- Información sobre productos finales.

3.0. TECNICAS DE ESTIMACION DE EMISIONES RECOMENDADAS

Esta sección presenta una breve revisión de las principales técnicas para la estimación de emisiones (TEEs) aplicables a las fuentes puntuales:

- Factores de emisión
- Pruebas de fuente
- Balance de materiales
- Modelos de emisiones.

Para un análisis más detallado de estos métodos, referirse al Volumen III: *Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones*.

Posterior a las descripciones, una Tabla de Referencia Cruzada de las Técnicas de Estimación de Emisiones muestra qué técnicas de estimación se recomiendan para los tipos de fuentes puntuales más comunes. El Apéndice IV-B de este manual contiene una lista de factores de conversión que pueden ser de utilidad en el momento de realizar cálculos de emisiones al aire.

3.1. Factores de Emisión

Un factor de emisión es una relación entre la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera con el nivel de actividad asociado con dicha emisión. El nivel de actividad puede ser, por ejemplo, una tasa de producción o la cantidad de combustible consumido. Si se conoce el factor de emisión y el nivel de actividad correspondiente, es posible hacer una estimación de las emisiones. El uso de factores de emisión es directo cuando la relación entre la información del proceso y las emisiones es directa y relativamente simple. Debe mencionarse que el uso de factores de emisión específicos para un establecimiento es preferible al uso de los factores promedio para todo un sector industrial. Sin embargo, dependiendo de los recursos disponibles la obtención de datos específicos para un establecimiento puede no ser costo-efectivo. La Figura 3-1 ilustra algunos ejemplos de aplicación de los factores de emisión.

Una de las principales referencias sobre los factores de emisión para contaminantes criterio es *AP-42*, que también contiene factores de emisión para un número limitado de contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos (U.S. EPA, 1995a). Una base de datos electrónica de los factores de emisión puede encontrarse en el Sistema de Recuperación de Información sobre Factores (*Factor Information Retrieval System - FIRE*), que contiene los mismos factores de emisión para contaminantes criterio que el *AP-42* (U.S. EPA, 1995b), así como algunos factores de emisión para contaminantes tóxicos para diversos tipos de fuentes. El sistema FIRE está disponible en formato electrónico en el Sistema de Boletineo (*Bulletin Board System - BBS*) de la Cámara de Compensación para Inventarios y Factores de Emisión (*Clearinghouse for Inventories and Emission Factors - CHIEF*), cuyo número telefónico es (001) (919) 541-5742. El sistema FIRE, así como el *AP-42*, están disponibles en el CD-ROM Air CHIEF, que puede ser solicitado al teléfono (001) (919) 541-5285.



Caldera de Gas Natural

kg de contaminante
 10^3 m^3 de gas quemado



Desengrasador de Vapor

kg de contaminante / hr
 m^2 de área de superficie
del desengrasador



Manufactura de Baterías

kg de contaminantes
 10^3 baterías

Figura 3-1. Ejemplos de Unidades del Factor de Emisión y Aplicaciones

Para efectuar el cálculo de emisiones utilizando factores, el algoritmo de estimación se requiere de varios componentes:

- Información de actividad para el proceso, tal y como se especifique en el factor de emisión pertinente
- Factores de emisión para traducir la información de actividad en estimados de emisiones controladas o no controladas
- Valor de la eficiencia de los equipos de captura y control cuando se aplica un factor de emisiones no controladas (los factores de emisiones "controladas" lo incluyen por definición).

El algoritmo básico para la estimación de emisiones aplicando un factor de emisiones no controladas cuando un equipo de control está instalado es:

(3-1)
$E = A \times EF \times (1 - ER/100)$
donde:
E = Estimado de emisión para la fuente (a nivel de proceso)
A = Nivel de actividad (por ejemplo, material producido)
EF = Factor de emisiones no controladas (por ejemplo lb de contaminantes emitidas / ton de material procesado)
ER = Eficiencia general en la reducción de emisiones totales, expresada en porcentaje; que es igual a la eficiencia del equipo de captura multiplicada por la eficiencia del equipo de control. Si no hay un equipo de control, ER = 0

Si el factor de emisión fue desarrollado considerando la operación de un equipo de control, entonces incorpora el término de efectividad del sistema de control (1-ER/100); por lo tanto, la forma del algoritmo es:

(3-2)

$$E = A \times EF$$

donde:

E = Estimado de emisión para la fuente (a nivel de proceso)

A = Nivel de actividad (por ejemplo material producido)

EF = Factor de emisiones controladas (por ejemplo, kg. de contaminantes emitidos / Mg. de material procesado)

La ecuación 3-2 también es aplicada cuando no existe un equipo de control en operación y el factor de emisión ha sido desarrollado a partir de la información generada en un sistema no controlado, tal y como se muestra en el siguiente ejemplo:

Ejemplo 3-1

Calcular las emisiones anuales de compuestos orgánicos volátiles (COVs) diferentes al metano, provenientes de una fábrica de pinturas que produce 200 toneladas métricas de pintura al año.

$$A_{\text{pintura}} = 200 \text{ Mg/año} \\ 6.4)$$

(Tomado del AP-42, Sección

$$EF_{\text{VOC}} = 15 \text{ kg/Mg}$$

$$E_{\text{COV}} = A_{\text{pintura}} \times EF_{\text{COV}} \\ = 200 \times 15 \\ = 3,000 \text{ kg/año}$$

Factores de Emisión - Aspectos a ser Considerados

- Las emisiones calculadas utilizando factores de emisión para un proceso dado, tienden a diferir de las emisiones reales de un establecimiento, dado que los estimados son menos precisos que las mediciones en pruebas de fuente.
- El uso de factores de emisión arrojará estimados superiores a los valores reales para algunas fuentes, pero inferiores para otras.
- Con frecuencia, los factores de emisión se basan en información limitada y es posible que no representen a las emisiones reales con fidelidad.
- Si los factores de emisión son utilizados para proyectar las emisiones de fuentes nuevas o propuestas, los responsables del cálculo deben revisar la literatura y tecnología más reciente para determinar si tales fuentes tendrían características que las diferencien de las fuentes típicas.
- Para calcular las emisiones usando factores de emisión se requieren los siguientes datos:
 - Información de actividad para el proceso, tal y como se especifique en el factor de emisión pertinente
 - Factores de emisión para traducir la información de actividad en estimados de emisiones controladas o no controladas
 - Valor de la eficiencia de los equipos de captura y control, para constituir las bases para estimar las emisiones a la atmósfera después de que éstas han pasado a través del equipo o equipos de control, si se está aplicando un factor de emisiones no controladas.
- La precisión de los estimados de emisiones depende de la precisión relativa de cada uno de sus componentes individuales. Los errores en que se incurra en alguna de las partes afectarán el estimado de emisiones final.

3.2. Pruebas de Fuente

El análisis de fuente es un método común para estimar emisiones de proceso y arrojan medidas de emisión en el corto plazo, tomadas en las chimeneas o respiraderos. Debido a la magnitud del tiempo y equipo requeridos, una prueba de fuente requiere más recursos que una estimación basada en factores de emisión o balance de materiales. Sin embargo, cabe señalar que la prueba de fuente evalúa tanto las concentraciones de contaminantes en la corriente de emisiones, como la tasa de flujo de aire de la corriente de emisiones

La definición de pruebas de fuente puede ampliarse para incluir el uso de monitores continuos de emisiones (MCEs). Esta tecnología hace muestreos continuos en la chimenea y analiza los

compuestos de interés, aplicando los mismos principios que en el muestreo rutinario. Si el equipo MCE es empleado en un establecimiento, los datos resultantes deben ser utilizados, en la medida de lo posible, para generar estimados de emisión de una unidad específica. El resto de esta sección se enfoca en el uso de los resultados de las pruebas de fuente para el cálculo de estimados de emisiones.

La mayor parte de los reportes pruebas de fuente agrupan las emisiones de cada contaminante expresándolas en términos de: (1) la tasa de carga de masa (masa de contaminantes emitida por unidad de tiempo); (2) un factor de emisiones (masa de contaminantes emitida por unidad de proceso); o (3) concentración de los gases de combustión (masa o número de moles de contaminantes por unidad de peso o volumen del flujo de gas). Generalmente, cuando se cuenta con una tasa de carga de masa o concentración de flujo de gas, las emisiones resultantes pueden ser calculadas fácilmente si se conocen ciertos parámetros de operación, tal y como se muestra en el siguiente ejemplo (U.S. EPA, 1993a):

Ejemplo 3-2

Una planta papelera con una sola línea de producción ha sido sujeta a una prueba de emisiones para compuestos orgánicos volátiles (COVs). Dado que el solvente utilizado es principalmente tolueno, las emisiones fueron medidas como tolueno. Los datos promedio de tres pruebas realizadas son los siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Tasa de flujo de la chimenea } (Q_s) &= 283 \text{ m}^3/\text{min} \\ \text{Concentraciones de las emisiones } (C_e) &= 96 \text{ ppm (de tolueno)} \end{aligned}$$

Otros datos necesarios para completar el cálculo incluyen:

$$\begin{aligned} \text{Operación de la planta} &= 16 \text{ horas/día, 312 días/año} \\ \text{Peso molecular del tolueno (MW)} &= 92 \text{ g/gmole} \\ \text{Factor de conversión de unidades (k)} &= 2.53 \times 10^{-3} \text{ gmole-min/hr-ppm-m}^3 \end{aligned}$$

El cálculo de las emisiones comienza con la determinación de la tasa de descarga promedio (M_o):

$$\begin{aligned} M_o &= (k)(MW)(C_e)(Q_s) \\ &= (2.53 \times 10^{-3})(92)(96)(283) \\ &= 6,324 \text{ g/hr} \\ &= 6.32 \text{ kg/hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisiones totales anuales} &= (6.32 \text{ kg/hr}) (16 \text{ hr/día}) (312 \text{ días/año}) \\ &= 3.2 \times 10^4 \text{ kg/año} \end{aligned}$$

Nota:

$$\left[\frac{10^6}{\text{hr}} \right] \left[\frac{60 \text{ min}}{379 \text{ ft}^3} \right] \left[\frac{\text{lb mole}}{\text{m}^3} \right] \left[\frac{35.31 \text{ ft}^3}{\text{m}^3} \right] \left[\frac{453.6 \text{ gmol}}{\text{lb mole}} \right] = 2.53 \times 10^{-3}$$

En algunas ocasiones, los resultados de las pruebas de fuente no son entregados en el formato en que deben ser reportados. Los siguientes ejemplos muestran algunas de las conversiones de datos que pueden ser necesarias.

Ejemplo 3-3: Conversión de ppmv a kg/hr

Dados: Oxidos de nitrógeno (NO_x) medidos en 100 partes por millón en volumen (ppmv) en los gases de la chimenea

Flujo de escape de 500 metros cúbicos (m³) por minuto

Requeridos: kg/hr de NO_x emitidos en gases de escape

Datos: Peso molecular (MW) del NO_x = 46

Volumen de moles = 24.13 l / kgmol @ 20°C

= 0.024 m³/kgmol

$$\left[\frac{100 \text{ kgmol NO}_x}{10^6 \text{ kgmol}} \right] \left[\frac{46 \text{ kg NO}_x}{\text{kgmol NO}_x} \right] \left[\frac{\text{kgmol aire}}{0.024 \text{ m}^3 \text{ aire}} \right] \left[\frac{60 \times 500 \text{ m}^3 \text{ aire}}{\text{hora}} \right] = 5,750 \text{ kg/hr}$$

Nota: Cuando se mide la masa de emisiones de NO_x, debe usarse el peso molecular de NO₂ (MW = 46) en el cálculo. Esta es una convención estándar, aún cuando la mayor parte de NO_x es emitido desde las fuentes de combustión como NO.

Ejemplo 3-4: Corrección de temperatura: de m³/min reales a m³/min estándar (corrección del flujo de gases de escape)

Dados: Velocidad de salida de gases de chimenea medidos a 10 m/s

Diámetro de la chimenea = 0.8 m

Temperatura de la chimenea = 80°C

Requeridos: Flujo de los gases de escape en medida estándar m³/min (con temperatura de referencia de 20°C)

Conversión:

$$\text{Flujo}_{20^{\circ}\text{C}} = (\text{Flujo } x^{\circ}\text{C}) \left[\frac{20^{\circ}\text{C} + 273.15}{x^{\circ}\text{C} + 273.15} \right]$$

$$\text{m}^3/\text{min} \left[\frac{10 \text{ m}}{\text{s}} \right] \left[\frac{\pi (0.8)^2 \text{ m}^2}{4} \right] \left[\frac{60\text{s}}{\text{min}} \right] \left[\frac{293.15 \text{ K}}{353.15 \text{ K}} \right] = 250 \text{ unidades estándar}$$

Nota: Para flujos de gas de escape con temperaturas elevadas, en general es necesario corregir tanto la temperatura como el contenido de agua (ver ejemplo 3-5).

Ejemplo 3-5: Corrección por Vapor de Agua: de m³/min reales a m³ estándar con condiciones secas / min (corrección de la tasa de flujo de gases de escape de chimenea)

Dados: La tasa de flujo de gases de escape húmedos del ejemplo 3-4 = 250 m³ estándar / min

Contenido de vapor de agua de los gases de chimenea = 2.1 % (volumen)

Requeridos: Flujo de gases de chimenea en condiciones secas (m³ estándar secos / min)

Conversión:

$$\text{Flujo}_{\text{seco}} = \text{Flujo}_{\text{húmedo}} [100\% - \% \text{H}_2\text{O}]$$

$$250 \text{ m}^3 \text{ estándar / min } [1 - 0.021] = 245 \text{ m}^3 \text{ estándar secos / min}$$

Ejemplo 3-6: Oxígeno en la corrección de gases de flujo (corrección de concentraciones contaminantes)

Dados: Partículas en gases de chimenea = 20 mg/m³ estándar seco (dscm)

Concentraciones de NO_x en gases de chimenea = 48 ppmv

Concentraciones de oxígeno en gases de chimenea = 4 % (vol)

Requeridos: Partículas de gases en chimenea y concentraciones de NO_x corregidas con 7 % de oxígeno.

Conversión:

$$\text{Conc}_{7\%} = \text{Conc}_{x\%} \left[\frac{21\% - 7\%}{21\% - X\%} \right]$$

$$\frac{20 \text{ mg PM}}{\text{dscm}} \left[\frac{21\% - 7\%}{21\% - 4\%} \right] = \frac{16.5 \text{ mg PM}}{\text{dscm}} @ 7 \text{ O}_2$$

$$48 \text{ ppmv NO}_x \left[\frac{21\% - 7\%}{21\% - 4\%} \right] = 40 \text{ ppmv NO}_x @ 7 \text{ O}_2$$

Análisis de Fuente - Aspectos a ser Considerados

- En general, cuando son aplicadas correctamente, las pruebas de fuente proporcionan mejores estimados de emisión que el uso de factores de emisión o balance de materiales.
- Los datos de las pruebas de fuente pueden ser utilizados para propósitos de estimación de emisiones solamente si fueron obtenidos en condiciones que sean representativas de las condiciones de operación normales en la fuente en cuestión.
- Los datos de emisiones de una sola prueba de fuente pueden ser extrapolados para estimar las emisiones anuales si la corriente de proceso no varía, y si el proceso opera de manera uniforme. Si existe variabilidad será necesario realizar múltiples pruebas, con base en los conocimientos de la variación.
- Si las operaciones en un establecimiento y los métodos empleados durante la prueba de fuente no pueden ser caracterizados adecuadamente, entonces no debe utilizarse la información generada en dichas pruebas.
- Si se usa una prueba de fuente para estimar las emisiones de un proceso, se prefiere la información compilada con observaciones en sitio para dicho proceso.
- La segunda opción es utilizar datos de pruebas en equipos y procesos similares, datos promedio de diversos establecimientos similares o datos basados en la literatura.
- La confiabilidad de la información puede verse afectada por factores tales como el número de pruebas conducidas y la metodología utilizada.

3.3. Balance de Materiales

El balance de materiales (también conocido como balance de masa) es un método comúnmente utilizado para estimar las emisiones de diversas categorías de fuentes. El supuesto básico es que las emisiones son iguales a la diferencia entre la cantidad de materiales que entra y que sale de un proceso (considerando pérdidas fugitivas, cantidad que permanece en el producto final, pérdidas en aguas residuales, etc.). El método de balance de materiales puede ser utilizado cuando no hay datos disponibles de pruebas de fuente, factores de emisión u otros métodos desarrollados. El balance de materiales es más apropiado cuando pueden hacerse mediciones precisas sobre todos los componentes de un proceso, exceptuando el de emisiones al aire, o cuando el estimado de emisión será utilizado con propósitos de selección, siempre que sea posible hacer supuestos razonables acerca del destino de los compuestos.

En general, el uso del balance de materiales o de masa para determinar las emisiones totales de un proceso es sencillo y poco costoso. Las emisiones de COVs derivadas de procesos donde se usan solventes (tales como las operaciones de recubrimiento) son calculadas normalmente utilizando el enfoque de balance de materiales. En este caso, los solventes enviados para la disposición de residuos sólidos o peligrosos deben sustraerse del total consumido:

$$\text{Solvente}_{\text{total usado}} \text{ (litro)} - \text{Solvente}_{\text{desechado}} \text{ (litro)} = \text{Solvente}_{\text{emitido}} \text{ (litro)}$$

(3-3)

En el ejemplo anterior, la masa COVs/volumen es multiplicada por el volumen de material usado para generar emisiones de COVs. La Figura 3-2 ilustra algunos ejemplos de balance de materiales.

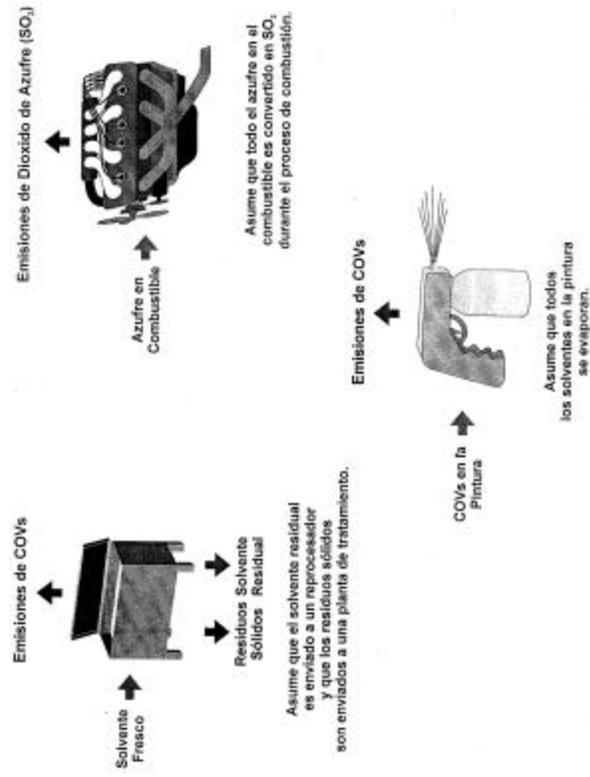


Figura 3-2. Ejemplos de Balance de Materiales

Ejemplo 3-7

Calcular las emisiones anuales de partículas (PM) de una operación de recubrimiento de una superficie, utilizando 1,800 litros/año de recubrimiento. La densidad promedio del recubrimiento es de 1.2 kg/litro, y el promedio de sólidos de 35% en masa. La eficiencia de transferencia del revestimiento es de 40%, y la eficiencia del equipo de control es 95%.

$$\begin{aligned} PM_{\text{dentro}} &= (1,800 \text{ litros/año}) \times (1.2 \text{ kg/litro}) \times (35 \% \text{ PM}) \\ &= 756 \text{ kg/año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PM_{\text{superficie}} &= 756 \text{ kg/año} \times 40 \% \\ &= 302 \text{ kg/año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PM_{\text{no controlado}} &= PM_{\text{dentro}} - PM_{\text{superficie}} \\ &= 756 - 302 \\ &= 454 \text{ kg/año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PM_{\text{controlado}} &= 454 \text{ kg/año} \times 95 \% \\ &= 431 \text{ kg/año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{PM}} &= PM_{\text{dentro}} - PM_{\text{superficie}} - PM_{\text{controlado}} \\ &= 756 - 302 - 431 \\ &= 23 \text{ kg/año} \end{aligned}$$

Balance de Materiales - Aspectos a Ser Considerados

- El método del balance de materiales no debe ser utilizado en procesos en los que el material reacciona para elaborar los productos, o en los que sufre cualquier otro cambio químico significativo, a menos que dichos procesos estén bien caracterizados.
- Debido a que las emisiones son estimadas para constituir la diferencia entre el material que entra y el material conocido que sale, un pequeño error porcentual en la estimación de la entrada o salida puede generar un gran error porcentual en el estimado de la emisión. Por lo tanto, los balances de materiales pueden ser inapropiados cuando se analiza una pequeña diferencia (i. e., pérdida), entre dos valores de entrada o salida relativamente grandes.

3.4. Modelos de Emisión

Un método más complejo, el de modelos de emisión, es utilizado para hacer estimaciones cuando las emisiones no están relacionadas directamente con ningún parámetro. Los modelos, en general, están basados en computadoras, de manera tal que un gran número de ecuaciones e interacciones pueden ser ejecutadas con facilidad. Los requerimientos de datos para los modelos son variables, pero en la mayoría de los casos, se necesita cuando menos un parámetro físico de la fuente en la cual el modelo será aplicado para estimar las emisiones. Los ejemplos de los modelos disponibles son el TANKS3 y el WATER8, que son utilizados para calcular las emisiones de COVs de los tanques de almacenamiento y las operaciones de recolección y tratamiento de aguas residuales, respectivamente (EPA, 1993c y EPA, 1994). Estos modelos están disponibles sin costo alguno a través del CHIEF BBS, (001) (919) 541-5742. Para información más detallada sobre los modelos de emisión, favor de referirse a la Sección 4.1 del Volumen III: *Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones*.

Modelos de Emisiones - Aspectos a Ser Considerados

- Los modelos requieren generalmente más datos que los factores de emisión.
- Los datos necesarios dependerán tanto de la fuente particular de emisiones como del modelo seleccionado. Los modelos de emisión para operaciones de tratamiento de aguas residuales, por ejemplo, podrían requerir tasas de flujo de las aguas, concentración de contaminantes y temperatura; mientras que los modelos de emisión para tanques de almacenamiento requieren datos sobre la capacidad del tanque, dimensiones, y presión de vapor.
- La exactitud de los estimados de emisiones depende de la precisión de los componentes individuales utilizados.

3.5. Tabla de Referencia Cruzada para la Estimación de Emisiones

La Tabla 3-1 contiene las técnicas de estimación de emisiones más adecuadas para las distintas categorías industriales y sus fuentes de emisión. Numerosos establecimientos (e. g., manufacturadores químicos) tienen diversos tipos de fuentes de emisión de contaminantes al aire, por ejemplo sus procesos de producción, equipos de combustión, fallas de equipo, tanques de almacenamiento y uso de solventes, tal y como se describe a continuación:

- Las emisiones de proceso de los establecimientos son aquellas que resultan directamente de los procesos de manufactura o producción. La magnitud y tipo de emisiones de proceso varía de acuerdo con el tipo de producción
- Los generadores, calderas e incineradores son fuentes comunes de emisiones de gases y partículas derivadas de la combustión
- Las emisiones fugitivas de compuestos orgánicos volátiles pueden proceder de equipos de producción con fugas en sus sellos, válvulas, bordes, conexiones y líneas abiertas
- Los tanques de almacenamiento pueden generar emisiones fugitivas de COVs durante las operaciones de transferencia o por los cambios diarios de temperatura
- El uso de solventes para limpiar el equipo o sus partes (e. g., desengrasado) es otra fuente común de emisiones fugitivas de COVs.

Las emisiones de contaminantes al aire desde varias fuentes en un establecimiento pueden ser estimadas con diferentes métodos, que dependen de la fuente particular de la que provengan. La selección de una técnica de estimación requiere el análisis de la información disponible. Si la aplicación de un método particular requiriera mayor información, es necesario ponderar los costos contra la calidad deseada de los estimados de emisiones. Cuando los riesgos de efectos ambientales adversos sean altos, las metodologías de estimación más costosas y sofisticadas, tales como pruebas de fuente, pueden ser necesarias. En el caso contrario, es decir, cuando los riesgos sean bajos, los métodos de estimación menos costosos, tales como factores y modelos de emisión pueden ser aceptables.

La jerarquización de los métodos listados en la Tabla 3-1 se basan en tipo de industria y magnitud de las emisiones, así como en el costo y calidad de los estimados de emisión para combinaciones específicas de contaminantes y fuentes. La calificación de "1" indica que un método es la técnica de estimación más conveniente. Si un método no tiene calificación alguna, quiere decir que no está disponible para la fuente particular de emisiones y el tipo de contaminante referidos.

Cómo Utilizar la Tabla 3-1

- Identificar la fuente de emisión en el establecimiento en cuestión.
- Utilizando la Tabla 3-1, identificar la Técnica de Estimación de Emisiones (TEE) para cada fuente.
- Si es factible, utilizar la TEE más conveniente (con calificación 1) para estimar las emisiones de una fuente dada.
- Revisar la subsección correspondiente de la Sección 3.1. y el Volumen IV: *Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones* para determinar la que es información es necesaria para utilizar la TEE más conveniente.
- Si no se cuenta con la información o los recursos para utilizar la técnica más conveniente, debe utilizarse la segunda mejor opción (con calificación de 2 o 3 en la Tabla 3-1) para estimar las emisiones.

Tabla 3-1

Técnicas de Estimación de Emisiones Recomendadas para las Diversas Categorías de Fuente

Categoría de Fuente	Fuente de Emisión	Contaminante	Técnicas de Estimación ^a				Comentarios
			Factor de Emisión	Pruebas de Fuente	Balance de Material	Modelos de Emisión	
Planta Generadora de Electricidad	Combustión	CO	2	1			
		NO _x	2	1			
		SO _x	3	1	2 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
		NH ₃ ^c	2	1			
Manufactura Química	Proceso	COVs	2	1			
		NH ₃	2	1			
	Combustión	CO	2	1			
		NO _x	2	1			
		SO _x	3	1	2 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
		NH ₃ ^c	2	1			

Tabla 3-1
(Continuación)

Categoría de Fuente	Fuente de Emisión	Contaminante	Técnicas de Estimación ^a				Comentarios
			Factor de Emisión	Pruebas de Fuente	Balace de Material	Modelos de Emisión	
	Fugas de Equipo	COVs	1	2			
	Tanques de Almacenamiento	COVs			2	1	
	Tratamiento de Aguas Residuales	COVs	2		3	1	
	Uso de Solventes	COVs			1		
Refinación de Petróleo	Proceso	COVs	2	1			
	Combustión	CO	2	1			
		NO _x	2	1			
		SO _x	3	1	2 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
	NH ₃ ^c	2	1				
	Fugas de Equipo	COVs	1	2			
Tanques de Almacenamiento	COVs			2	1		

Tabla 3-1
(Continuación)

Categoría de Fuente	Fuente de Emisión	Contaminante	Técnicas de Estimación ^a				Comentarios
			Factor de Emisión	Pruebas de Fuente	Balace de Material	Modelos de Emisión	
	Tratamiento de Aguas Residuales	COVs	2		3	1	
	Uso de Solventes	COVs			1		Solventes utilizados para el mantenimiento del equipo.
Siderurgia Básica	Proceso (no combustión)	COVs	2	1			
		SO _x	3	1	2 ^b		
		PM	2	1			
	Combustión	CO	2	1			
		NO _x	2	1			
		SO _x	3	1	2 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
	NH ₃ ^c	2	1				
Polvos Fugitivos	PM	1				Pilas de almacenamiento, caminos de transporte, etc.	

Tabla 3-1
(Continuación)

Categoría de Fuente	Fuente de Emisión	Contaminante	Técnicas de Estimación ^a				Comentarios
			Factor de Emisión	Pruebas de Fuente	Balance de Material	Modelos de Emisión	
Siderurgia Secundaria	Proceso (no combustión)	COVs	2	1			Incluye carga, refinado y fundición.
		PM	2	1			
	Combustión	CO	2	1			Las emisiones pueden generarse de la carga de materiales, además del quemado de combustibles.
		NO _x	2	1			
		SO _x	3	1	2 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
	NH ₃ ^c	2	1				
Polvos Fugitivos	PM	1				Pilas de almacenamiento, caminos de transporte, etc.	
Producción de Cemento	Combustión	CO	2	1			
		SO _x	3	1	2 ^b		
		COVs	2	1			

Tabla 3-1
(Continuación)

Categoría de Fuente	Fuente de Emisión	Contaminante	Técnicas de Estimación ^a				Comentarios
			Factor de Emisión	Pruebas de Fuente	Balance de Material	Modelos de Emisión	
	Combustión	PM	2	1			
		NH ₃ ^c	2	1			
	Fugitivos	PM	1				Pilas de almacenamiento y polvos de las superficies de manejo.
	Proceso	PM	2	1			Operaciones del secador.
Productos Minerales Misceláneos (e. g., cal y agregados de hornos de calcinación)	Proceso	PM	2	1			Operaciones del fraccionamiento y molienda.
	Combustión	CO	2	1			
		NO _x	2	1			
		SO _x	3	1	2 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
Combustión	NH ₃ ^c	2	1				

Tabla 3-1
(Continuación)

Categoría de Fuente	Fuente de Emisión	Contaminante	Técnicas de Estimación ^a				Comentarios
			Factor de Emisión	Pruebas de Fuente	Balace de Material	Modelos de Emisión	
	Fugitivos	PM	1				Pilas de almacenamiento y polvos de las superficies de manejo.
Industria Automotriz	Proceso	COVs	2	1			
	Combustión	CO	2	1			
		NO _x	2	1			
		SO _x	3	1	2 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
	NH ₃ ^c	2	1				
Uso de Solventes	COVs			1		Operaciones de limpieza.	
Operaciones de Pulpa de Madera	Proceso	COVs	2	1			Digestores, evaporadores, torres de oxidación, etc.
		SO _x	2	1			
		PM	2	1			
	Combustión	CO	2	1			
		NO _x	2	1			

Tabla 3-1
(Continuación)

Categoría de Fuente	Fuente de Emisión	Contaminante	Técnicas de Estimación ^a				Comentarios
			Factor de Emisión	Pruebas de Fuente	Balance de Material	Modelos de Emisión	
		SO _x	2	1	3 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
		NH ₃ ^c	2	1			
Producción de Gas y Petróleo	Proceso	COVs	2	1			
	Fugitivos (incluyendo fugas de equipo)	COVs	1	2			Válvulas y sellos de las tuberías y otras fugitivas.
	Combustión	CO	2	1			
		NO _x	2	1			
		SO _x	3	1	2 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
NH ₃ ^c	2	1					

Tabla 3-1
(Continuación)

Categoría de Fuente	Fuente de Emisión	Contaminante	Técnicas de Estimación ^a				Comentarios
			Factor de Emisión	Pruebas de Fuente	Balance de Material	Modelos de Emisión	
	Tanques de Almacenamiento	COVs			2	1	
Editorial e Impresión	Proceso	COVs	2	1	3		
	Fugitivos	COVs			1		Limpieza del equipo.
Recubrimiento de Superficies	Proceso	COVs	2	3	1		Usar balance de masa si no existe equipo de control de COVs.
		PM	1				
	Desengrasado	COVs	2		1		
	Fugitivos	COVs			1		Limpieza del equipo
Terminales de Combustible a Granel	Carga	COVs	1		2		Balance de masa para COVs de derrames.
	Tanques de Almacenamiento	COVs	2			1	
	Fugas de Equipo	COVs	1	2			

Tabla 3-1
(Continuación)

Categoría de Fuente	Fuente de Emisión	Contaminante	Técnicas de Estimación ^a				Comentarios
			Factor de Emisión	Pruebas de Fuente	Balace de Material	Modelos de Emisión	
Minería y Explotación de Canteras	Proceso	PM	1				
	Fugitivos	PM	1				Pilas de almacenamiento y polvos de las superficies de manejo.
Manufactura de Productos de Madera	Proceso	COVs	2		1		
		PM	1	2			
	Combustión	CO	2	1			
		NO _x	2	1			
		SO _x	2	1	3 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
	NH ₃ ^c	2	1				
Tanques de Almacenamiento	COVs				1		

Tabla 3-1
(Continuación)

Categoría de Fuente	Fuente de Emisión	Contaminante	Técnicas de Estimación ^a				Comentarios
			Factor de Emisión	Pruebas de Fuente	Balance de Material	Modelos de Emisión	
Producción de Azúcar	Proceso	PM	1				
	Combustión	CO	2	1			
		NO _x	2	1			
		SO _x	2	1	3 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
		NH ₃ ^c	2	1			
	Fugitivos	COVs			1		
Tenería y Acabado de Pieles	Proceso	COVs			1		
	Combustión	CO	2	1			
		NO _x	2	1			
		SO _x	2	1	3 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
		NH ₃ ^c	2	1			

Tabla 3-1
(Continuación)

Categoría de Fuente	Fuente de Emisión	Contaminante	Técnicas de Estimación ^a				Comentarios
			Factor de Emisión	Pruebas de Fuente	Balace de Material	Modelos de Emisión	
Producción de Vidrio	Horno de Fundición	CO	2	1			Incluye emisiones de la combustión.
		NO _x	2	1			
		SO _x	2	1			
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
		NH ₃ ^c	2	1			
	Proceso	PM	2	1			Mezcla y transporte de materias primas.
		COVs	2	1			Formado y acabado.
Partes de Hule y Plástico	Proceso	COVs	2	1			
	Combustión	CO	2	1			
		NO _x	2	1			
		SO _x	2	1	3 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
		NH ₃ ^c	2	1			

Tabla 3-1
(Continuación)

Categoría de Fuente	Fuente de Emisión	Contaminante	Técnicas de Estimación ^a				Comentarios
			Factor de Emisión	Pruebas de Fuente	Balance de Material	Modelos de Emisión	
Productos Metálicos Elaborados	Proceso	PM	2	1			
	Combustión	CO	2	1			
		NO _x	2	1			
		SO _x	2	1	3 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
		NH ₃ ^c	2	1			
Productos Textiles	Proceso	COVs	2	1	3		COVs de las operaciones de acabado.
		PM	2	1			Tamo de las operaciones mecánicas.
	Combustión	CO	2	1			
		NO _x	2	1			
		SO _x	2	1	3 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
		NH ₃ ^c	2	1			

Tabla 3-1
(Continuación)

Categoría de Fuente	Fuente de Emisión	Contaminante	Técnicas de Estimación ^a				Comentarios
			Factor de Emisión	Pruebas de Fuente	Balace de Material	Modelos de Emisión	
Disposición de Residuos Sólidos	Gas de Rellenos Sanitarios	COVs				1	
	Combustores de Residuos Municipales	CO	2	1			
		NO _x	2	1			
		SO _x	2	1			
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
		NH ₃ ^c	2	1			
		Incineración en Tiraderos a Cielo Abierto	CO	1			
	NO _x		1				
	SO _x		1				
	COVs		1				
	PM		1				
		NH ₃	1				

Tabla 3-1
(Continuación)

Categoría de Fuente	Fuente de Emisión	Contaminante	Técnicas de Estimación ^a				Comentarios
			Factor de Emisión	Pruebas de Fuente	Balance de Material	Modelos de Emisión	
Actividades y Procesos Industriales Misceláneos	Emisiones del Proceso	CO	2	1	3		El método de estimación de emisiones seleccionado dependerá de la industria particular. En general, las pruebas de fuente proporcionan los estimados más precisos; sin embargo, otros métodos pueden ser más prácticos.
		NO _x	2	1	3		
		SO _x	2	1	3		
	Emisiones de la Combustión	COVs	2	1	3		
		PM	2	1	3		
		CO	2	1			
		NO _x	2	1			
		SO _x	2	1	3 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
NH ₃ ^c	2	1					

Tabla 3-1
(Continuación)

Categoría de Fuente	Fuente de Emisión	Contaminante	Técnicas de Estimación ^a				Comentarios
			Factor de Emisión	Pruebas de Fuente	Balance de Material	Modelos de Emisión	
	Fugitivos	COVs			1		La limpieza de solventes es una fuente común de COVs.
Establecimientos Gubernamentales	Combustión	CO	2	1			Típicamente incluye el calentamiento del espacio, así como la combustión de las operaciones del proceso.
		NO _x	2	1			
		SO _x	2	1	3 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
	NH ₃ ^c	2	1				
	Fugitivos	COVs			1		Típicamente incluye la limpieza de solventes.
Alimentos y Agricultura	Proceso	COVs	1	2			Incluye la deshidratación de alfalfa, los elevadores de grano, la producción de cerveza, etc.
		PM	1	2			
	Emisiones de la Combustión	CO	2	1			
		NO _x	2	1			

Tabla 3-1
(Continuación)

Categoría de Fuente	Fuente de Emisión	Contaminante	Técnicas de Estimación ^a				Comentarios
			Factor de Emisión	Pruebas de Fuente	Balace de Material	Modelos de Emisión	
		SO _x	2	1	3 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
		NH ₃	2	1			
Plantas de Asfalto	Proceso	PM	2	1			Agrega las operaciones de manejo.
	Emisiones de la Combustión	CO	2	1			
		NO _x	2	1			
		SO _x	2	1	3 ^b		
		COVs	2	1			
		PM	2	1			
		NH ₃	2	1			

^a Las técnicas de estimación de emisiones son discutidas brevemente en la Sección 2.1 de este documento; y en detalle en el Volúmen III: *Técnicas Básicas para la Estimación de Emisiones*. Los valores numéricos indican el orden de preferencia que debe ser considerado al seleccionar una técnica de estimación, siendo el número 1 la más preferida.

^b Basado en el análisis de azufre del proveedor.

^c El amoniaco se desprende del SCR utilizado como método de control de NO_x.

CO = monóxido de carbono; NH₃= amoniaco; NO_x = óxidos de nitrógeno; PM = partículas; SO_x= óxidos de azufre; COVs = compuestos orgánicos volátiles.

4.0. CONSIDERACIONES ESPECIALES QUE AFECTAN LAS EMISIONES

Los factores tales como la variabilidad en los procesos, equipo y materias primas utilizados dentro de la región donde se el inventario es realizado, pueden conducir a variaciones en las emisiones. Por otro lado, algunas fuentes de emisión normalmente son pasadas por alto y omitidas sin quererlo de los inventarios. Estas dos situaciones especiales, que afectan el desarrollo de inventarios para fuentes puntuales, son discutidos a continuación.

4.1. Variabilidad por Diseño o Proceso

Muchos factores pueden influenciar las emisiones. Esta sección presenta algunos de los factores que pueden variar de un equipo a otro o de una región a otra. **El responsable del desarrollo del inventario debe estar al pendiente de estos factores y debe, en lo posible, recopilar información específica para el equipo o para la región.**

4.1.1. Características de la Combustión

Los productos de la combustión derivados del consumo de combustibles pueden incluir hidrocarburos parcialmente oxidados, monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), trióxido de azufre (SO₃), óxidos de nitrógeno (NO_x), ácidos como el ácido hidroclicóric, organohálidos y partículas. La generación de los productos de la combustión está fuertemente influenciada por tipo de combustible y de horno, la configuración del incinerador y las

condiciones de operación de la caldera. Si bien aquí no se presenta una descripción detallada de las operaciones de una caldera, sí se incluyen algunas observaciones generales para ayudar en el entendimiento de los impactos relativos de varios tipos de calderas y combustibles.

Propiedades de los Combustibles: Las cuatro clasificaciones primarias del carbón son lignito, antracita, bituminoso y sub-bituminoso. El combustible está clasificado con base en métodos estándar referidos como análisis “aproximado” y “último”. El primero revela la composición del combustible para ciertos parámetros tales como el contenido de humedad y de ceniza. El análisis último proporciona un estimado del contenido de carbón, hidrógeno, azufre, oxígeno, nitrógeno y agua en un combustible. Este análisis se utiliza para medir los requerimientos de combustión en términos de aire, y puede ser aplicado para calcular factores de combustible (F_d) para determinar las tasas de flujo del escape. En general, el tamaño de la caldera, la configuración del incinerador y la operación, tienen muy poco efecto sobre el porcentaje de conversión de azufre del combustible en óxidos de azufre, por lo que es relativamente fácil proyectar las emisiones de óxidos de azufre mediante el análisis del combustible. El ejemplo 4-1 muestra la manera en que el análisis de combustibles puede ser utilizado para estimar emisiones de SO_2 .

Ejemplo 4-1:

Este ejemplo muestra cómo pueden calcularse las emisiones de SO_2 partiendo de la combustión de aceite basada en los datos del análisis de combustibles.

Las emisiones de SO_2 pueden ser calculadas utilizando la siguiente ecuación:

$$E = Q_f \times \text{Concentraciones de contaminantes en combustibles} \times (MW_p/MW_f)$$

donde:

E = Emisiones

Q_f = Tasa de Flujo de Combustible

MW_p = Peso molecular del contaminante emitido (g/gmole)

MW_f = Peso molecular del combustible contaminante (g/gmole)

Para este ejemplo:

$$Q_f = 2.09 \times 10^4 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Porcentaje de azufre en combustible (\%S)} = 1.17$$

$$MW \text{ del } SO_2 = 64$$

$$MW \text{ del Azufre (S)} = 32$$

$$E_{SO_2} = Q_f \times \text{concentración de contaminante en combustible} \times (MW_p/MW_f)$$

$$= (2.09 \times 10^4)(1.17 / 100)(64/32)$$

= 489.3 kg/hr

Por otra parte, la Norma Oficial Mexicana NOM-086-ECOL-1994 define las especificaciones de protección ambiental para los combustibles fósiles líquidos y gaseosos usados en fuentes estacionarias y móviles (SEMARNAP, 1994). Esta norma define las especificaciones para gas natural y productos derivados del petróleo, tales como gasolina, diesel, aceite y gas licuado (LPG), que son usados en varias regiones geográficas. Asimismo, se han establecido especificaciones para combustibles en zonas críticas, entre las que se incluyen las zonas metropolitanas de la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey, y la Zona Fronteriza Norte.

La Tabla 4-1 presenta una lista de tipos de combustible, su aplicación de acuerdo con la región geográfica, y la referencia en la NOM-086-ECOL-1994 en la que se puede encontrar información detallada sobre las características de cada combustible (contenido de azufre, presión de vapor Reid, contenido de ceniza, etc.). Las especificaciones de la NOM-086-ECOL-1994 pueden ser utilizadas para desarrollar estimados de emisión cuando no es posible obtener información más específica sobre las propiedades de los combustibles de Pemex u otra entidad gubernamental.

Condiciones de Operación: En contraste, la formación de NO_x es depende en gran medida de las condiciones de la caldera, especialmente de la temperatura y la relación aire/combustible cerca de los quemadores. Los NO_x son producidos por dos mecanismos: 1) la conversión del nitrógeno que salta del combustible; y 2) la oxidación del nitrógeno molecular del aire en combustión, referido como formación termal de NO_x , que es altamente dependiente de la temperatura, y se incrementa si la temperatura excede $1,649^\circ\text{C}$ (Buonicore, 1992). Si la temperatura de operación es menor, también lo es producción termal de NO_x . Un tiempo de residencia menor también reduce el NO_x termal generado por calderas de aceite o carbón. Las emisiones de óxido de nitrógeno de una caldera de aceite tangencial son típicamente menores de las que resultan de unidades horizontalmente opuestas. Muchas calderas tienen modificaciones de combustión para reducir las emisiones de NO_x , entre las que se incluye la combustión de etapa (stage combustion), calentamiento *off-stoichiometric*, recirculación de gases de combustión (FRG, por sus siglas en inglés), y quemadores de bajo NO_x con aire de sobrecalentamiento (OFA). Estas estrategias de control pueden reducir las emisiones de NO_x entre el 5 y 50 por ciento (Buonicore, 1992).

Tabla 4-1

**Capacidad de Aplicación por Regiones Geográficas
y Referencia de Especificación en la NOM-086-ECOL-1994
Para los Diversos Tipos de Combustible**

Combustible	Número de la Tabla de Especificación del Combustible en la NOM-086-ECOL-1994	Capacidad de Aplicación por Regiones Geográficas
Gasolina (Magna Sin)	Tabla 1	En todo el país, excepto, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y la Zona Fronteriza Norte (ZFN) durante 1997 ^a
Gasolina (Magna Sin Zona Fronteriza Norte)	Tabla 2 y Anexo 1, 2, y 3 de la Tabla 2	ZFN. Area de influencia en la distribución de las siguientes terminales de comercialización: <ul style="list-style-type: none"> • Ciudad Juárez y Tijuana • Zona Oeste (incluyendo Cananea, Ciudad Obregón, Guaymas, Hermosillo, Magdalena y Nogales en Sonora; Ensenada, Rosarito y Mexicali en Baja California • Zona Norte (incluyendo Avalos y Monclova en Coahuila; Nuevo Laredo y Reynosa en Tamaulipas.
Gasolina (Magna Sin - Zonas Metropolitanas)	Tabla 3	ZMCM durante 1997. En 1998, las Zonas Metropolitanas de la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey.

Tabla 4-1
(Continuación)

Combustible	Número de la Tabla de Especificación del Combustible en la NOM-086-ECOL-1994	Capacidad de Aplicación por Regiones Geográficas
Gasolina (Nova Plus)	Tabla 4	A nivel nacional, excepto la ZMCM durante 1997 ^b
Gasolina (Nova Plus-Zonas Metropolitanas)	Tabla 5	ZMCM durante 1997. En 1998, las Zonas Metropolitanas de la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey.
Diesel Sin	Tabla 6	Zonas Metropolitanas de la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey.
Diesel Desulfurado	Tabla 7	A nivel nacional.
Diesel Industrial	Tabla 8	A nivel nacional. Exclusivo para uso en conos de flama abierta.
Gasoleo Industrial	Tabla 9	A nivel nacional, excepto la ZMCM. No disponible después del 31 de diciembre de 1997. Exclusivo para uso en combustión de flama abierta.
Combustóleo Pesado	Tabla 10	A nivel nacional.
Gas Natural	Tabla 11	A nivel nacional.
Gas LP	Tabla 12	A nivel nacional.
Turbosina o gasavión	Tabla 13	A nivel nacional.

^a En 1998, aplicable a nivel nacional, excepto en las ZM de México, Guadalajara, Monterrey y la ZFN.

^b En 1998, aplicable a nivel nacional, excepto en las ZM de México, Guadalajara, Monterrey

4.1.2. Materias Primas

Además de los efectos que las propiedades de los combustibles pueden tener en los estimados de emisión, las propiedades físicas y químicas de otras materias primas usadas por una fuente puntual también pueden influenciar las emisiones. Por ejemplo, la densidad del material es aplicada con frecuencia para convertir el volumen de material usado en la masa de material usado. Como ejemplo adicional, el contenido material de compuestos orgánicos volátiles (COVs) (i. e., g/L) es a menudo utilizado para estimar las emisiones de una operación de recubrimiento de superficies.

Las propiedades físicas y químicas de algunas materias primas pueden variar a lo largo del país. Por ejemplo, la industria maquiladora, localizada principalmente en la zona fronteriza del norte, comenzó a operar en 1960 como parte de un plan para ubicar establecimientos industriales internacionales en México. El plan permitió que numerosas empresas extranjeras trajeran equipo, componentes y materias primas al país sin estar sujetos a barreras arancelarias. Por consiguiente, muchas de las materias primas usadas por las maquiladoras pueden ser importadas y pueden diferir de las materias primas empleadas en otras partes de México.

4.1.3. Prácticas de Operación

Las prácticas de operación pueden variar en diferentes regiones de México y tener un impacto potencial en el desarrollo de las estimaciones de emisión. Muchas de las tecnologías, estándares de producción y prácticas de operación de las maquiladoras, por ejemplo, son importadas y reflejan prácticas industriales extranjeras. En general, las plantas industriales extranjeras están más automatizadas, mientras que la industria mexicana tradicional

tiende a aplicar procesos manuales en mayor medida y, con frecuencia, está más basada los aspectos artesanales. Estas diferencias pueden provocar cambios en los estimados de emisión. Por ejemplo, el equipo automatizado para recubrimiento de superficies normalmente aplica una capa de recubrimiento más delgada que cuando se usa equipo manual.

4.1.4. Edad del Equipo

En México, el sector manufacturero está compuesto por un número pequeño de grandes consorcios nacionales y compañías extranjeras (2,481 en 1992), y un gran número de empresas micro (101,226), pequeñas (20,734) y medianas (3,338). En general, las grandes instalaciones manufactureras han instrumentado procesos de producción limpios y competitivos, y usan equipo moderno. Por otra

parte, las empresas más pequeñas operan con equipo y tecnología más antiguos, y están consideradas como grandes consumidoras de energía y contaminadoras potenciales, a pesar de su menor tamaño.

La edad del equipo puede influenciar el desarrollo de estimados de emisiones de dos maneras. Primero, los equipos más modernos tienden a aplicar tecnologías diseñadas para reducir las emisiones. Por ejemplo, los Desgrasadores a Vapor de Bajas Emisiones (*Low Emission Vapor Degreasers, LEVDs*), recientemente diseñados, usan nuevas tecnologías tales como el aspirado total y las cámaras de remoción de grasa totalmente selladas, que reducen las emisiones de manera significativa, si se compara con los removedores convencionales. Segundo, la edad del equipo debe ser considerada al seleccionar un factor de emisión para una fuente dada. Para que el factor de emisión sea aplicable, la edad del equipo examinado debe ser similar a la edad del equipo con el que se desarrolló el factor.

4.1.5. Datos Meteorológicos y Climatológicos

Para estimar las emisiones de ciertas fuentes es necesario contar con información meteorológica y climatológica. Para ecuaciones de estimación de emisiones para tanques de almacenamiento, por ejemplo, se requieren parámetros tales como la temperatura ambiente promedio anual y la velocidad del viento. Por otro lado, puede mencionarse que la cantidad de combustible utilizado por los equipos de acondicionamiento de aire o calefacción varía de acuerdo con las condiciones del clima.

Para obtener la información climatológica específica de cada región, deben utilizarse los reportes desarrollados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), o por el Centro Nacional de las Ciencias Atmosféricas y Meteorológicas de la UNAM.

4.2. Fuentes de Emisión Típicamente Omitidas

Algunos procesos que emiten contaminantes atmosféricos de manera rutinaria son, con frecuencia, omitidos en los inventarios de emisiones. Los responsables del desarrollo de los inventarios deben estar enterados de estos procesos, y deben incluir las emisiones de las siguientes fuentes:

- Equipo de procesos alimentado con combustible
- Componentes fugitivos
- Equipo de control
- Uso misceláneo de solventes
- Vehículos en sitio
- Aditivos del proceso
- Instalaciones de almacenamiento
- Manejo de materiales.

La responsabilidad de registrar adecuadamente esta información recae en quien prepare el inventario de emisiones. A continuación se discuten algunos ejemplos de los procesos típicamente omitidos y de ambigüedades en la clasificación del equipo.

4.2.1. Equipo de Proceso Alimentado con Combustible

Muchos procesos industriales de manufactura usan equipo alimentado con combustible. Los hornos de cemento, por ejemplo, utilizan secadores de producto que operan con combustible; así como los secadores de gas natural que se aplican en los procesos de recubrimiento. **Las emisiones por el uso de combustibles dentro del proceso se estiman utilizando las mismas técnicas usadas para estimar las emisiones de otras fuentes de combustión, y deben incluirse en el inventario.**

4.2.2. Fuentes de Emisiones Fugitivas

Existen diversas fuentes potenciales de emisiones por fugas en el equipo, que están asociadas con las industrias de aceite y gas, refinación de petróleo, y distribución de productos del petróleo. Componentes tales como bombas, válvulas, válvulas de presión, bordes, agitadores y compresoras son fuentes potenciales que pueden fallar debido a roturas en los sellos. Las emisiones fugitivas de los componentes ocurren en el equipo de proceso cuando hay escapes accidentales de líquido o gas. En general, estas emisiones se presentan en raras ocasiones y son difíciles de predecir; algunas veces son intermitentes y varían en intensidad a lo largo del tiempo. Por consiguiente, las mediciones de las emisiones que se fugan del equipo representan una sola imagen del proceso de fuga. Otras fuentes, tales como las tuberías abiertas y conexiones de muestreo pueden tener fugas ocasionadas por situaciones diferentes a una falla en los sellos. La mayor parte de la información recopilada en los Estados Unidos para estimar las fugas de cierto equipo se ha centrado en la industria manufacturera química orgánica sintética, refinerías de petróleo, terminales de distribución de petróleo, plantas procesadoras de gas, y establecimientos de producción de gas y aceite, para los compuestos orgánicos totales y los compuestos orgánicos no de metano.

El *Protocolo para Estimados de Emisión por Fugas en Equipos* (U.S. EPA, 1995 c) es una buena referencia con respecto a los procedimientos y enfoques para estimar las emisiones de fugas en equipos. Estos pueden ir desde lo más sencillo (multiplicar el equipo por los factores de emisión promedio) hasta lo más complejo (desarrollar de correlaciones de unidad específica entre las tasas de emisión de masa y los valores de separación (screening)). Gran parte de este documento que describe el enfoque del factor promedio de emisión y el enfoque de los rangos de separación es incluido como Apéndice IV-C.

Además de las fugas derivadas de componentes con fallas en el equipo, existen otras emisiones fugitivas diversas que podrían, en ciertos casos, ser identificadas como "fuentes puntuales", que están asociadas con un proceso dado o una industria determinada. Los especialistas en inventarios de emisiones utilizan las listas publicadas para iniciar una lista de fuentes puntuales que posteriormente sea desarrollada con base en observaciones personales. Algunos ejemplos de emisiones de procesos

fugitivos que podrían ser agregadas incluyen vapores metalúrgicos producidos en operaciones de soldadura y herrería, emisiones de partículas provenientes de operaciones metal-mecánicas, o emisiones de amoníaco de servicios de impresión (por ejemplo, heliografía).

El desarrollo del inventario debe buscar con prontitud las fuentes de emisiones fugitivas, e incluirlas para prevenir la subestimación de las emisiones.

4.2.3. Equipo de Control

Debe tenerse cuidado al considerar la influencia que los equipos de control tienen en las emisiones, dado que, si bien son utilizados para reducir las emisiones, en ocasiones ellos mismos constituyen una fuente adicional de emisiones. El mejor ejemplo es el uso de reducción selectiva para controlar emisiones derivadas de la combustión. Este proceso se utiliza para controlar las emisiones de NO_x , pero puede provocar emisiones de amoníaco debidas al “deslizamiento de amoníaco”, es decir, el exceso de amoníaco que no reacciona y es emitido directamente.

4.2.4. Uso Misceláneo de Solventes

Con frecuencia, los solventes son utilizados para limpiar piezas de equipo antes del recubrimiento o de algún otro proceso de manufactura. Además de las tinas de desgrasado, donde las piezas son literalmente sumergidas en solvente, otros limpiadores pueden aplicarse utilizando pequeñas brochas o trapos. **Las emisiones ocurren cuando estos solventes se evaporan, y deben ser cuantificadas usando la técnica de balance de materiales, e incluidas en el inventario de emisiones.**

4.2.5. Emisiones Vehiculares en Sitio

Los grandes complejos industriales en ocasiones poseen flotillas vehiculares utilizadas para transportar materiales, productos o personal dentro de sus instalaciones. Los vehículos mismos son fuentes de contaminantes relacionados con la combustión de NO_x y CO en particular. Adicionalmente, si los calles dentro de la instalación no están pavimentadas, se genera el levantamiento de partículas. **La agencia regulatoria debe decidir si las emisiones vehiculares en sitio deben ser incluidas en el inventario de fuentes puntuales. Las emisiones provenientes de esta fuente son usualmente estimadas usando factores de emisión.**

4.2.6. Aditivos del Proceso

Cualquier químico que se agregue al proceso de producción o control tiene el potencial de ser emitido a la atmósfera. Ejemplos de estos tipos de fuentes incluyen al amoníaco inyectado al gas de flujo para controlar NO_x , y los catalizadores usados en los procesos de reacción química. **Las emisiones de estos procesos se estiman usando información producida en los exámenes en la fuente, factores de emisión, o técnicas de balance material, y deben ser incluidas en el inventario.**

4.2.7. Pilas de Almacenamiento

Las pilas de almacenamiento pueden ser una fuente de emisiones de partículas, especialmente si no se cubren adecuadamente o se controlan con algún otro método. Los materiales que pueden encontrarse en las instalaciones de almacenamiento incluyen: carbón en las plantas de generación eléctrica; rocas en plantas de producción de asfalto o concreto; y otros materiales almacenados en bultos. **Estas fuentes tienen el potencial de generar emisiones significativas de partículas, y deben estar incluidas en el inventario. En este caso, las emisiones de partículas son estimadas aplicando factores o modelos de emisión.**

4.2.8. Manejo de Materiales

Los materiales transportados en camiones o vagones de ferrocarril, sin ser cubiertos de manera adecuada, también pueden producir emisiones de partículas. Dentro de un establecimiento, los materiales, tales como el carbón, que son transportados en bandas de transferencia o sistemas neumáticos, pueden provocar emisiones fugitivas de partículas. Al igual que en el caso de los establecimientos de almacenamiento, las emisiones de estas fuentes se estiman utilizando factores o modelos de emisión, y deben estar incluidas en cualquier inventario de emisiones.

5.0. EQUIPO DE CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE

Para estimar apropiadamente las emisiones, la efectividad del equipo de control existente debe ser considerada en los cálculos. En general, el equipo de control para reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles y partículas emplea procesos de combustión o de recolección física. Con frecuencia, los óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno son controlados con transformación química. Normalmente, los equipos de control para monóxido de carbono no son utilizados para fuentes puntuales; y las emisiones de amoníaco pueden ser controladas para procesos químicos, físicos y de combustión. Una descripción básica de las técnicas usadas por la industria para controlar partículas menores a 10 micras (PM_{10}), dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), y contaminantes atmosféricos peligrosos puede encontrarse en el documento *Control Technologies for Hazardous Air Pollutants Handbook* (U.S. EPA, 1991).

5.1. Efectividad del Control

La eficiencia del equipo de control se mide por el porcentaje de contaminantes atmosféricos que se remueven del flujo de emisiones antes de ser liberado. Además de la eficiencia del equipo de control, las emisiones están determinadas por la eficiencia de captura de un sistema, que indica el porcentaje del flujo de emisiones que es atrapado por el equipo de control. La efectividad completa del control es, entonces, producto de la eficiencia del equipo de captura y de la eficiencia del equipo de control. En consecuencia, es necesario generar estimados de la eficiencia del equipo de captura y de control para lograr estimados de emisión precisos.

Ejemplo 5-1:

Si se cuenta con un quemador eficiente (para reducir emisiones de COVs) que logre una destrucción del 99 %, y el sistema de captura tiene una eficiencia de captura de 80 %, entonces la eficiencia total de reducción de COV es solamente de 79.2 %.

$$\begin{aligned}\text{Efectividad del Control} &= \text{eficiencia del equipo de control}(\%) \times \text{eficiencia de captura} (\%) \\ &= 99/100 \times 80/100 \\ &= 79.2 \%\end{aligned}$$

5.1.1. Eficiencia de Captura

La eficiencia de captura se define como la fracción de contaminantes emitidos desde un punto del proceso que realmente queda atrapada en deflectores, filtros o algún otro equipo de captura, y que posteriormente es enviada al equipo de control. La eficiencia de captura puede ser medida a través de pruebas efectuadas en el establecimiento para el que se desean estimar las emisiones; y con frecuencia, es estimada mediante pruebas en equipos similares que operan en otras instalaciones. De manera alternativa, la eficiencia de captura puede estimarse considerando las especificaciones del fabricante o los valores presentados en la literatura. Si no existen datos sobre la eficiencia de captura, es posible hacer estimaciones con base en juicios ingenieriles.

5.1.2. Eficiencia del Equipo de Control

Existen tres maneras diferentes de determinar la eficiencia de un equipo de control, que se presentan a continuación en orden de preferencia:

Prueba de Fuente: La eficiencia de un equipo de control puede ser determinada para un equipo y condiciones de operación específicos, mediante pruebas de fuente que midan las concentraciones de contaminantes antes y después del equipo de control.

Sin embargo, debido a las posibles variaciones en la operación de los equipos de control ocasionadas por deterioro, mal funcionamiento o falta de adaptación al proceso, las mediciones están sujetas a limitaciones potenciales.

Especificaciones del Fabricante: El segundo método para obtener la eficiencia de control es usar las especificaciones de diseño del fabricante, o las especificaciones de desempeño garantizado.

Sin embargo, la eficiencia de diseño reportada por los productores es la que se logra bajo condiciones óptimas, que pueden no ser representativas de las condiciones reales. Además, un equipo de control puede no ser del tamaño adecuado para el proceso al que se aplica. Puede ser conveniente una evaluación de la eficiencia de diseño para ajustar el equipo a las condiciones de la fuente.

Valores de la Literatura: Cuando los datos de pruebas de fuente o las especificaciones del fabricante no estén disponibles, es posible usar los valores presentados en la literatura para medir la eficiencia de un equipo. La Tabla 5-1 enlista algunos equipos de control usados comúnmente para fuentes puntuales, señalando los contaminantes controlados y la eficiencia de control.

Si bien la Tabla 5-1 puede ser utilizada para realizar estimados “gruesos” de la eficiencia del equipo de control, es necesario tomar en cuenta que ésta puede verse afectada por las condiciones específicas de operación. En consecuencia, los estimados de eficiencia de control pueden no ser aplicables a equipos específicos; por lo tanto, es posible recurrir al conocimiento del proceso y el juicio ingenieril para complementar la estimación.

Es necesario ajustar los estimados de eficiencia del equipo de control de acuerdo con los periodos de falla y las condiciones del equipo (por ejemplo con filtros degradados). Si los equipos de control son desconectados periódicamente para mantenimiento o por descompostura, las emisiones liberadas durante una hora dada pueden exceder las que se

emiten durante varias horas de operación en condiciones normales. Si no se consideran las emisiones que resultan durante el tiempo en que los equipos de control no operan u operan deficientemente, se puede generar un error en los estimados de emisión.

Tabla 5-1
Equipos de Control Típicos y Eficiencia de Control (%)^a

Equipo o Técnica	Contaminante			
	Partículas	COVs	SO _x	NO _x
Ciclón	80-90+			
Filtro de Tela	80-99+			
Precipitador Electrostático	95-99+			
Lavador	80-95	--	80-98	-- ^b
Absorción		90-99	--	-- ^b
Adsorción		50-99	-- ^b	-- ^b
Condensación	--	50-95		
Incineración Térmica	--	95-99+		
Incineración Catalítica		95-99+		--
Reducción Catalítica Selectiva				40-90
Reducción No Catalítica Selectiva				40-60

Fuentes: Emission Inventory Improvement Program (EIIP), July 1995a and Nevers, 1995.

^a Las eficiencias son sólo estimadas. El conocimiento específico sobre el proceso y equipo reales es necesario para generar un estimado de eficiencia más preciso.

^b Técnica de control experimental.

-- = Datos no disponibles.

SO_x = Oxidos de Azufre

NO_x = Oxidos de Nitrógeno

COVs = Compuestos orgánicos volátiles.

5.2. Descripción de los Equipos de Control

En esta sección se presenta una breve descripción de los equipos y técnicas de control más comunes. En el documento *Air Pollution Control, A Design Approach* (Cooper and Alley, 1994) es posible encontrar información más detallada. Con respecto a las ventajas, desventajas y costo de diversos equipos de control conviene consultar el *Control Technologies for Hazardous Air Pollutants* (U.S. EPA, 1990), y el *Air Pollution Engineering Manual* (Buonicore, 1992).

5.2.1. Ciclón

El ciclón (también conocido como “recolector mecánico”) es un equipo de control de partículas que usa la gravedad, inercia e impacto para remover partículas de un flujo dentro de un ducto. Los ciclones de gran diámetro se utilizan frecuentemente como limpiadores primarios para remover el grueso de partículas pesadas de una corriente de aire, antes de pasarla a limpiadores secundarios (EIIP, 1995b).

5.2.2. Filtro de Tela

Los sistemas de filtros de tela atrapan las partículas en elementos filtradores (bolsas). Las partículas quedan atrapadas en la superficie de las bolsas, mientras la corriente de aire pasa a través de ellas. Los filtros de tela pueden alcanzar la mayor eficiencia en la recolección de partículas de entre todos los equipos de control de partículas (EIIP, 1995b).

5.2.3. Precipitador Electrostático

Los precipitadores electrostáticos (ESPs) se usan para controlar las emisiones de partículas. Los ESPs emplean fuerzas eléctricas para remover partículas de un flujo de gas y llevarlas a un plato recolector. Posteriormente, las partículas son removidas de los platos y depositadas en una tolva de recolección (EIIP, 1995b).

5.2.4. Lavador (*Scrubber*)

Los lavadores se utilizan para remover partículas y óxidos de azufre. Los lavadores húmedos emplean agua para remover partículas mediante el contacto directo con la corriente de aire. Los óxidos de azufre pueden ser controlados con líquidos alcalinos en lavadores húmedos o secos.

5.2.5. Absorción

La absorción es una operación en la que se transfieren componentes de una mezcla de gas a un líquido. Este proceso puede ser físico, cuando los compuestos simplemente se disuelven en el solvente, o químico cuando se presenta una reacción (U.S. EPA, 1991). En la mayoría de las aplicaciones para el control de contaminantes, el líquido es agua y el proceso es algunas veces llamado lavado o tallado (Cooper, 1994). El tipo de equipo más usado para operaciones de contacto para gas/líquido es la torre recubierta. El flujo de gas entra por la parte baja de la columna y circula hacia arriba a través de una cama recubierta húmeda. El líquido entra por la parte alta de la columna y se distribuye uniformemente en la cubierta de la columna. La transferencia de masa de la fase gaseosa a la líquida se realiza a lo largo de la interfase gas-líquido, que provee la superficie húmeda del recubrimiento de la torre (Cooper, 1994).

5.2.6 Adsorción

Un sistema de adsorción controla los COVs adsorbiendo selectivamente los compuestos de una superficie o cama, que típicamente está compuesta de carbón. Los COVs que se adsorben son removidos de la cama de carbón en el proceso de desorción mediante el calentamiento del carbón, usando vapor o reduciendo la presión del sistema. Estos sistemas incluyen camas fijas y móviles, que también se conocen como camas fluidizadas. Para la adsorción de SO₂ Se han diseñado algunos sistemas fluidizados (Nevers, 1995; U.S. EPA, 1991; Cooper, 1994).

5.2.7. Condensación

La condensación es la técnica mediante la cual los COVs son separados de un gas mediante la saturación, seguida por un cambio a estado líquido. Para producir el cambio de estado de estos compuestos, es posible aplicar dos técnicas: (1) incrementar la presión del sistema a una temperatura dada; o (2) reducir la temperatura del sistema a una presión constante. Los dos tipos de condensadores más usuales son los de superficie y los de contacto (U.S. EPA, 1991).

5.2.8. Incineración

La incineración térmica es una técnica de control ampliamente utilizada que provoca la oxidación de los COVs a altas temperaturas. Estos equipos son capaces de lograr un alto nivel de eficiencia (superior al 99 % de destrucción de COVs). Es posible el empleo de catalizadores para ayudar en la oxidación de COVs en un sistema de incineración catalítico (U.S. EPA, 1991).

5.2.9. Reducción Selectiva

La reducción catalítica selectiva es una tecnología que controla los óxidos de nitrógeno, mediante su reacción catalítica con amoníaco para formar nitrógeno y agua. Las tecnologías de reducción no catalítica selectiva utilizan un agente para reducir los óxidos de nitrógeno a agua y nitrógeno (EIIP, 1995a; EIIP, 1995b).

6.0. PARAMETROS DE CHIMENEA

Si el inventario está siendo utilizado para modelar la calidad ambiental los datos de la chimenea son necesarios. Esto incluye tanto los datos de la chimenea misma, como los de respiraderos, tubos u otras aberturas que liberen contaminantes a la atmósfera. Dependiendo del modelo y de su objetivo, las chimeneas pueden ser analizadas individualmente o en grupo. El resto de este capítulo describe los parámetros de chimenea. Para mayor detalle sobre los requerimientos para modelar inventarios ver *Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources, Revised* (U.S. EPA, 1992).

Los parámetros de chimenea requeridos usualmente para modelar son:

- Ubicación
- Altura
- Diámetro
- Temperatura
- Velocidad
- Tasa de flujo volumétrica.

En establecimiento grande, la recopilación de los parámetros para todas las chimeneas puede representar un reto. Sin embargo, con frecuencia es posible agrupar diferentes chimeneas y estudiarlas como una sola.

6.1. Localización de la Chimenea

La localización de cada chimenea debe ser identificada mediante el uso de coordenadas geográficas, tales como latitud y longitud. Para modelos de dispersión, la localización debe ser lo más exacta posible, con un margen de error no mayor a 10 metros. Los modelos regionales pueden tolerar datos menos precisos. La ubicación de las chimeneas puede determinarse con diversos métodos, mismos que son descritos a continuación.

6.1.1. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Un GPS puede utilizarse para determinar una localización de modo muy preciso. Existen numerosos satélites GPS alrededor de la Tierra que sirven como puntos de referencia. La localización de un punto sobre la superficie puede ser determinada con base en la distancia que tenga con cuatro o más satélites.

Un buen sistema de posicionamiento es costoso, y el precio de un receptor GPS con grado de precisión de 1 cm a 1 m fluctúa entre 10,000 y 30,000 dólares. La precisión depende del empleo de un receptor FM para la corrección diferencial o de una estación base sobre un punto dado, y así como del tiempo de ocupación del satélite sobre ese punto (de 10 minutos a una hora para tener aproximación de centímetros).

Los receptores GPS de menor precisión cuestan entre 600 y 4,000 dólares, y tienen un margen de precisión de entre 1 y 10 metros. Los receptores a nivel recreativo, con un margen de precisión de 100 metros tienen un costo entre 200 y 600 dólares. Estos dos tipos de receptores, sin embargo, pueden no ser adecuados para ciertos inventarios que requieren un mayor grado de precisión o un análisis micro.

6.1.2. Datos de Estudios Previos y Mapas CAD

Si el sitio ha sido analizado previamente, la localización de chimeneas específicas puede ser determinada de acuerdo con los mapas existentes o los archivos de diseño ayudado por computadora (CAD, por sus siglas en inglés). Cuando menos dos puntos de referencia pueden ser localizados dentro del área de interés; sin embargo, entre más puntos de referencia se establezcan, más precisión se tendrá al ubicar las chimeneas. Para localizar los puntos de referencia es necesario seguir los estándares y procedimientos del INEGI.

6.1.3. Mapas Topográficos

El método menos adecuado para localizar chimeneas es el uso de mapas topográficos. Si una planta tiene más de una chimenea, es poco probable que este método pueda localizar cada una con precisión. Sin embargo, este método puede ser útil para modelos regionales de gran escala, donde no se precise un alto nivel de detalle (ver discusión en el punto 6.1., anterior, sobre grupos de chimeneas).

6.2. Altura de la Chimenea

La altura de la chimenea se mide desde el suelo. El error más común en inventarios es medir la chimenea desde el techo y no desde el suelo. A continuación se describen brevemente tres métodos para determinar la altura de una chimenea.

6.2.1. Clinómetro

Un clinómetro es un instrumento muy sencillo que puede ser usado para medir la altura de un objeto. Se requiere conocer la distancia entre la base de la chimenea y la persona que está tomando la medición para completar los cálculos. El nivel de precisión varía, y depende primordialmente de:

- La exactitud de la medición a la base
- La precisión del clinómetro.

La Figura 6-1 ilustra el uso del clinómetro. En esta figura, la chimenea está localizada en el límite del edificio, así que la medición de la distancia a la base no se obstruye. Si la chimenea se localizara a la mitad del edificio, es más recomendable medir la altura del edificio y la altura de la chimenea sobre el techo (usando un clinómetro) y después sumar los dos resultados.

La lectura del clinómetro se da como un porcentaje de la distancia a la base. En el ejemplo de la Figura 6-1, la altura de la chimenea (a nivel del ojo) es:

$$48/100 \times 25 = 12.0 \text{ m}$$

(6-1)

La altura a nivel del ojo a partir del suelo (1.7 m) debe agregarse para dar una altura total de 13.7 m.

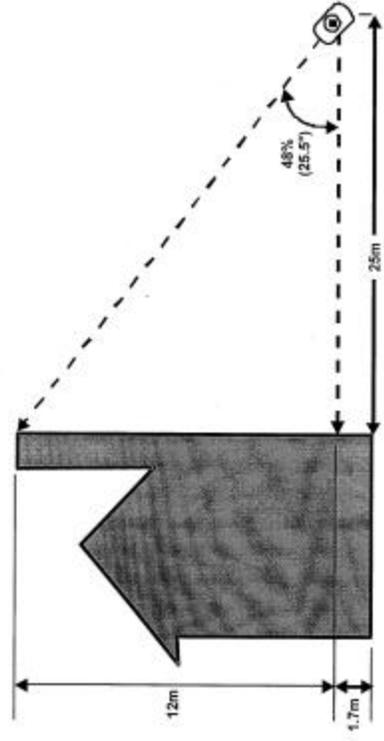


Figura 6-1. Uso del Clinómetro para Medir la Altura de una Chimenea

6.2.2. Medición Directa

Si la chimenea no es muy alta, la medición puede hacerse directamente. En general, lo más sencillo es extender un flexómetro desde el techo del edificio hasta el suelo, para medir la altura del edificio, hacer lo mismo con la chimenea y sumar ambos resultados.

6.2.3. Diseños Arquitectónicos e Ingenieriles

Si existen planos o esquemas de otro tipo sobre las edificaciones, es posible obtener los datos sobre la altura de las chimeneas de esos documentos. De cualquier modo es conveniente verificar la altura (usando uno o ambos métodos anteriores).

6.3. Diámetro de la Chimenea

En este caso, los parámetros de interés son diámetro de la boca o el diámetro interior de la chimenea, que debe medirse directamente. Si se utilizan planos o esquemas, es conveniente verificar la certeza de los valores que muestran. Esta es una variable muy importante porque afecta el cálculo de la velocidad de salida y debe, por consiguiente, ser medido con la mayor precisión posible.

Si la chimenea no es redonda, el diámetro debe calcularse de acuerdo con su área. Por ejemplo, el área (A) de un respiradero rectangular se calcula midiendo los dos lados (desiguales), y multiplicándolos. El área de un círculo es πr^2 (donde r es el radio o la mitad del diámetro). El diámetro efectivo (d) se calcula entonces:

$$d = 2 \times (A/\pi)^{1/2} \quad (6-2)$$

6.4. Temperatura

La temperatura de los gases en el punto donde son liberados de la chimenea es otra variable importante. En la mayoría de los modelos, la temperatura de salida afecta la altura que alcanza la pluma. Este valor debe ser medido al interior de la chimenea, justo en el punto más alto.

Hay que recordar que si una chimenea es muy alta, los gases se enfriarán significativamente conforme suban. La mayor parte de las temperaturas de salida para algunos procesos específicos caen dentro de un rango típico, pero es posible que se registren algunas fuera de ese rango. Algunos procesos de control pueden reducir las temperaturas de los procesos de combustión.

6.5. Velocidad de Salida

La velocidad de salida de los gases se calcula usualmente considerando el diámetro de la chimenea y la tasa de flujo volumétrico, tal como se muestra a continuación:

$$\text{Velocidad de salida (m/s)} = \frac{\text{tasa de flujo (m}^3\text{/s)}}{\text{área de la chimenea (m}^2\text{)}} \quad (6-3)$$

El área de la chimenea se calcula usando el diámetro de salida (ver sección 6.3 anterior).

6.6. Tasa de Flujo Volumétrico

La tasa de flujo volumétrico es el volumen de gases que salen de la chimenea o de otro punto de emisión por unidad de tiempo (por ejemplo m^3/s).

La tasa de flujo no se usa directamente para modelar. Sin embargo, con frecuencia es más accesible (por ejemplo en las especificaciones de los fabricantes de ventiladores de extracción), que la velocidad de salida. Por consiguiente, la tasa de flujo volumétrico real se usa para calcular la velocidad (ver sección 6.5). Si la tasa de flujo se ha convertido a una estándar (algunas veces expresada como tasa de flujo "normal"), debe ser convertida a la tasa real.

7.0. ASEGURAMIENTO DE CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD

Las actividades de aseguramiento de calidad son esenciales para el desarrollo de inventarios de emisiones completos y de alta calidad; y requieren la instrumentación de procedimientos de aseguramiento de calidad y control de calidad (AC/CC) a lo largo de todo el proceso de inventariado. Para mayor información sobre los aspectos de AC/CC, incertidumbre y verificación de emisiones, ver el Programa de Mejoramiento de Inventarios de Emisiones (EIIP) Volumen VI: *Quality Assurance Procedures for the Emission Inventory Improvement Program*, borrador externo (EIIP, 1995 c).

El aseguramiento de calidad es un sistema integrado de actividades que incluye la planeación, el control, la valoración, los reportes y mejoras de la calidad, que está diseñado para asegurar que el inventario cumpla con las metas u objetivos de calidad establecidos antes de su desarrollo. El control de calidad es el sistema general de actividades técnicas rutinarias diseñadas para evaluar y controlar la calidad del inventario conforme está siendo desarrollado. El objetivo principal del sistema AC/CC para los inventarios de emisiones es la obtención de datos precisos, útiles y confiables.

La Figura 7-1 muestra los pasos básicos con respecto a los procedimientos AC/CC dentro del inventario de fuentes puntuales del INE. Para instrumentar los procedimientos AC/CC, los auditores del INE seleccionan aleatoriamente un establecimiento dentro de un grupo estratégico de sectores industriales. Posteriormente, el auditor obtiene una

copia de la Encuesta Industrial que el establecimiento entregó al INE y efectúa una “revisión general”, que consiste en el análisis de los datos presentados para verificar que estén completos y sean razonables. Más tarde, el auditor elabora una lista de los códigos del Sistema Nacional de Información de Fuentes Fijas (SNIFF) que, según su criterio, deben ser asignados a los datos presentados en la encuesta. Los códigos SNIFF asignados por el auditor se comparan con los códigos asignados por el INE en el momento en que los datos del cuestionario fueron capturados en los archivos del SNIFF, y se hacen las modificaciones pertinentes.

A continuación, el auditor analiza las “emisiones revisadas” reportadas por el establecimiento en la encuesta, y las compara con las emisiones calculadas usando una metodología estándar. En la encuesta, una planta debe, por ejemplo, presentar un estimado de emisiones basado en pruebas de fuente, mismo que debe ser comparado con el estimado de emisiones desarrollado por el auditor, con base en el uso de combustibles y factores de emisión del documento AP-42. Si los resultados de estos dos enfoques son razonablemente consistentes, entonces el procedimiento AC/CC está completo. De lo contrario, se requiere que otras actividades AC/CC (por ejemplo una llamada de seguimiento al establecimiento o una revisión del auditor a los resultados de los datos de la fuente) sean realizadas hasta que el auditor quede satisfecho con los estimados de emisión presentados ante el SNIFF.

Un ejemplo de lista de revisión para fuentes puntuales se incluye en el Apéndice IV-D. Esta lista de revisión, diseñada para un inventario de precursores de ozono, incluye aspectos relacionados con el grado en que el inventario está completo, aplica los métodos aprobados y es razonable.

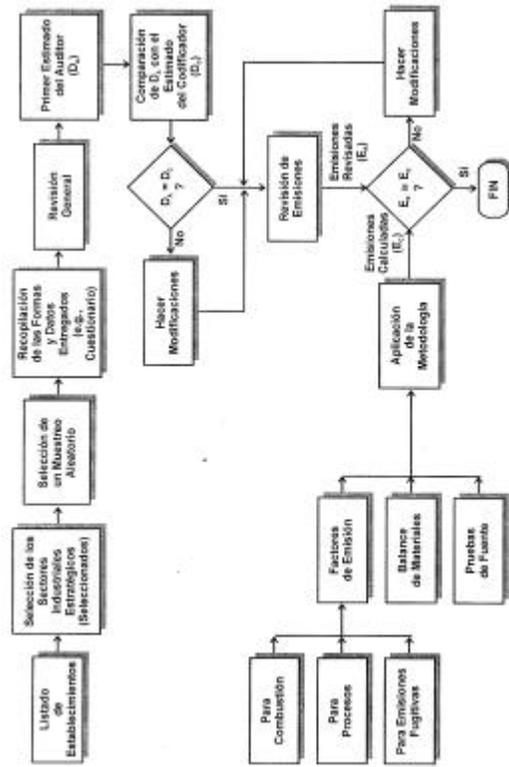


Figura 7-1. Procedimientos de AC/CC para el Inventario de Fuentes Puntuales del INE

7.1. Declaración de los Objetivos de Calidad de los Datos

El primer paso al planear un inventario es definir su propósito y uso. Esta información será aplicada, en su momento, para determinar tanto los objetivos de calidad de los datos (DQOs, por sus siglas en inglés) para el inventario, como los requerimientos AC/CC.

Los DQOs son declaraciones sobre el nivel de incertidumbre que un responsable de la toma de decisiones está dispuesto a aceptar. Su propósito es asegurar que los datos finales sean adecuados para el uso que se pretende darles. Las declaraciones DQO deben identificar el uso final o propuesto para los datos, así como el nivel anticipado de incertidumbre en los estimados de emisión.

Es muy importante reconocer que los DQOs son específicos para cada método; están basados en las posibilidades para una metodología dada y en la calidad de la información disponible. Los responsables del desarrollo del inventario deben revisar los datos históricos. Es importante preguntarse qué problemas en el pasado han ocasionado una disminución de la calidad del inventario y si su resolución es posible. Si este programa es para una fuente o región que nunca ha sido inventariada, debe analizarse la información y las experiencias de esfuerzos similares.

Los DQOs deben ser analizados y redactados por adelantado. Una declaración sobre los objetivos de calidad de los datos debe incluir:

- Precisión (o incertidumbre) de los estimados de emisión
- Nivel en el que los datos están completos
- Representatividad
- Grado de comparación.

A pesar de las mejores intenciones con que trabajan quienes preparan el inventario, es importante considerar las restricciones de tiempo, las limitaciones de recursos y la falta de datos. Los DQOs para el inventario deben ser realistas y considerar cualquier factor que pudiera limitar la calidad. El aspecto más importante es dedicar el tiempo necesario para asegurar la calidad del producto.

La Tabla 7-1 enlista seis objetivos importantes de calidad para los inventarios, y presenta algunos métodos generales para lograr estos objetivos.

7.2. Indicadores de Calidad de la Información

Una vez que los DQOs han sido determinados, el siguiente paso, que con frecuencia es más difícil, consiste en identificar los indicadores de calidad de la información (DQIs) que se utilizarán para medir el avance en los DQOs, siendo preferibles las medidas cuantitativas (tales como los límites de confianza, sistemas de ordenamiento numérico o calificaciones). Cabe señalar que la instrumentación de estas medidas es todavía más compleja. Una alternativa es usar DQIs cualitativos, lo que puede hacerse mediante una discusión crítica y exhaustiva de las limitaciones y fortalezas del inventario. En última instancia, los medios de AC/CC dependerán de los métodos empleados para el inventario. Ver la Sección 7.3. para una guía de métodos AC/CC específicos.

Tabla 7-1

**Métodos para Alcanzar los Objetivos de Calidad para los Datos
del Inventario de Emisiones**

Objetivos de Calidad de los Datos	Métodos
Asegurar la correcta instrumentación de los lineamientos del INE.	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar la documentación del inventario, comparando los procedimientos utilizados en la realidad con aquellos que son requeridos.
En los casos en que los lineamientos del INE no fueron utilizados o no estaban disponibles, determinar el sesgo evaluando qué tan razonable fue enfoque utilizado.	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión técnica del enfoque utilizado. • Comparación de los resultados de otros métodos.
Asegurar la precisión de los datos de entrada.	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar la precisión de la transcripción de los datos. • Revisar cualesquier factores de conversión utilizados. • Determinar qué tan razonables fueron los supuestos utilizados para calcular los datos de entrada. • Verificar que la fuente de datos estuviera actualizada y fuera la mejor disponible.
Asegurar la precisión de los cálculos	<ul style="list-style-type: none"> • Repetir una muestra representativa (o todas) manualmente.
Determinar el grado de comparación y la representatividad del inventario.	<ul style="list-style-type: none"> • Comparar las emisiones con otras de inventarios similares. • Hacer una revisión cruzada de los datos comparándolos con los datos oficiales.
Determinar el grado en que el inventario está completo.	<ul style="list-style-type: none"> • Comparar la lista de categorías de fuente o puntos de emisión con aquellos enlistados en los lineamientos del INE. • Hacer una revisión cruzada con otros inventarios publicados, directorios industriales, etc.

7.3. Procedimientos AC/CC para Métodos Específicos de Estimación de Emisiones

La siguiente sección contiene descripciones detalladas de los procedimientos AC/CC para técnicas específicas de estimación de emisiones, incluyendo pruebas de fuente, factores de emisión, balance de materiales y modelos de emisión.

7.3.1. Pruebas de Fuente

Actualmente existen descripciones completas sobre los procedimientos de muestreo en chimeneas, instrumentos y equipo de muestreo de fuente, identificación y manejo de muestras, análisis de laboratorio, uso de datos de las muestras y elaboración de reportes, que pueden encontrarse en muchas referencias bibliográficas, tales como los *Guidelines for Assessing and Reporting Data Quality for Environmental Measurements* (U.S. EPA, 1983) o el *Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurements Systems : Volume III. Stationary Source Specific Methods* (U.S. EPA, 1984). Estos documentos también contienen una discusión detallada sobre los cálculos de precisión requeridos y la interpretación de datos, los criterios específicos sobre datos inaceptables, así como los indicios de que un sistema está fuera de control. Además, el equipo encargado de la prueba debe desarrollar un Plan de Aseguramiento de Calidad antes de cada prueba de campo específica.

Una auditoría de sistemas en sitio debe conducirse, como una revisión cualitativa de los diversos aspectos de un sistema de muestreo y/o análisis total, con el objetivo de evaluar su efectividad general. La auditoría de sistemas debe representar una evaluación objetiva de las fortalezas, debilidades y áreas de problemas potenciales de cada sistema. La auditoría proporciona una evaluación de la capacidad del sistema de medición completo para generar datos sobre calidad que sean adecuados, en términos de cantidad y calidad, para cumplir con los objetivos del programa.

Los criterios de aceptación, límites y valores para cada parámetro de control asociado con métodos de muestreo manual, tales como calibración métrica de gas seco y tasas de fuga, se resumen en la Tabla 7-2. Los procedimientos AC/CC asociados con el monitoreo continuo de emisiones (por ejemplo, calibración multi-punto de instrumentos, anulación de instrumentos y cálculo de la corriente) están contenidos en los métodos de referencia específicos (40 CFR, Parte 60, Apéndice A).

Tabla 7-2

Resumen de los Criterios de Aceptación y Límites de Control para los Métodos de Muestreo Manual

Parámetro o Criterio	Límite de Control y Valores
TSP Isocinética	100 ±10%
PM ₁₀ Isocinética	100 ±20%
DP ₅₀ Tamaño Calculado de Corte	9 - 11 µg
Tasa de Fuga Final (después de cada puerto)	≤0.02 acfm ó 4% de la tasa de muestreo, el que resulte menor
Calibración Seca del Medidor de Gas	Factor post-promedio (γ) tolera ±5% del pre-factor
Factores Individuales de Corrección (Y _i)	Queda dentro del 2% del factor promedio
Factor de Corrección Promedio	1.00 ±1%
Medidor Seco de Gas Intermedio	Calibrado cada seis meses contra el estándar
Balanza Analítica (Top Loader)	0.1 g de los Pesos Clase C del <i>National Bureau of Standards</i>
Peso Constante del Filtro	Dos pesadas con una tolerancia de ±0.5 mg

Fuente: EIIIP, Volumen VI, Tabla 9-2.

7.3.1.1. Análisis del Error

El propósito de un análisis de error es identificar las fuentes de error, para evaluar la magnitud relativa de cada componente de error en los resultados, con el objetivo fundamental de minimizar los errores a través de esfuerzos AC/CC aplicados en los puntos de mayor impacto potencial.

Las tasas de emisión de un contaminante particular son el producto del gas de chimenea y de las medidas de muestreo, tales como concentración (g/dscm) y tasas de emisión (kg/hr). La magnitud de error en una concentración o tasa de emisión ocasionado por un error de medición puede ser calculada. El error relativo puede ser definido como:

$$\text{Error Relativo} = (\text{Observado} - \text{Verdadero}) / \text{Verdadero} \times 100$$

(7-1)

La Tabla 7-3 ilustra la manera en que los errores en las mediciones de gases de chimenea pueden afectar las concentraciones finales y los valores de emisiones. Los errores resultantes en las concentraciones y las tasas de emisión son causados por un error hipotético de medición aislado de +10 % en diversas medidas de muestreo de varias chimeneas. Las siguientes secciones muestran con mayor detalle cómo un error de medición puede afectar los parámetros medidos durante el muestreo de chimeneas.

7.3.1.2. Flujo contra Diámetro de la Chimenea

La siguiente ecuación calcula el error en un flujo de gases de chimenea ocasionado por un error de medición en el diámetro de la chimenea:

$$E_R = (2E_M + E_M^2) \quad (7-2)$$

donde:

E_R = el error de tasa de flujo resultante (fracción)

E_M = el error de medición del diámetro (fracción)

Si, por ejemplo: $E_M = 10 \%$, entonces

$$\begin{aligned} E_R &= (2 \times 0.1 + 0.1^2) \\ &= 0.21 \text{ ó } 21 \% \end{aligned}$$

Tabla 7-3

**Sensibilidad de los Resultados de las Pruebas de Emisión
a los Errores Hipotéticos en las Mediciones Manuales**

Medición	Error Ocasionado por un Error de +10% en la Medición	
	Error de Concentración ^a (%)	Error en la Tasa de Emisión ^b (%)
D _s , Diámetro de la Chimenea (metros)	0	21.0
Δp, Presión de la Velocidad (en H ₂ O)	0	4.9
P _{static} , Presión Estática (en H ₂ O)	0	0.03
P _{bar} , Presión Barométrica (en Hg)	-9.0	-3.8
T _s , Temperatura de la Chimenea (°F)	0	-1.8
T _m , Metro-Temperatura (°F)	1.6	1.5
O ₂ , Medición de Oxígeno (%V)	0	-0.03
CO ₂ , Medición del Dióxido de Carbono (%V)	0	-0.3
H ₂ O, Arrastre de Agua (g)	0	-0.9
V, Metro-Volumen (m ³)	-9.1	-8.3
ΔH, Metro-Presión (en H ₂ O)	-0.05	-0.04
Y, Metro-Calibración	-9.1	-8.3
Análisis de Contaminantes (μg)	10.0	10.0

^a Concentración del contaminante en el gas de la chimenea. Por ejemplo, un error del 10% en el diámetro de la chimenea medido no tiene efecto alguno sobre la concentración reportada.

^b Tasa de emisiones en masa por unidad de tiempo o actividad. Por ejemplo, un error del 10% en el diámetro de la chimenea medido, ocasiona un error del 1% en la tasa de emisión estimada.

Fuente: EIIP, Volumen VI, Tabla 9-4.

7.3.1.3. Flujo contra Presión de Velocidad

La siguiente ecuación sirve para calcular el error en una tasa de flujo de gas de chimenea ocasionado por un error de medición en la presión de velocidad:

$$E_R = \sqrt{(1 + E_M)} - 1 \quad (7-3)$$

Por ejemplo, si $E_M = 10\%$, entonces

$$\begin{aligned} E_R &= \sqrt{(1 + 0.1)} - 1 \\ &= 0.049 \text{ ó } 4.9\% \end{aligned}$$

Por consiguiente, un error de 10 % en la presión de velocidad tiene como consecuencia un error de 4.9 % en la medición de flujo.

7.3.2. Factores de Emisión

Los datos utilizados para desarrollar factores de emisión disponibles, por ejemplo, en el documento AP-42 o en el *Factor Information Retrieval System (FIRE)*, se obtienen de pruebas de fuente, estudios de balance de materiales, y estimados ingenieriles. Los datos se obtienen a través de artículos y reportes, resultados e informes de exámenes reales, y comunicación personal.

Cada factor de emisión publicado en AP-42 o en el FIRE recibe una calificación de calidad, que sirve como una evaluación del nivel de confianza que el generador de ese valor otorga a la precisión del factor de emisión. Cuando se utilizan factores de emisión existentes, el usuario debe estar familiarizado con los criterios para asignar las calificaciones sobre la calidad de los datos y los factores de emisión, tal como se describe en el documento *Technical Procedures for Developing AP-42 Emission Factors and Preparing AP-42 Sections* (U.S. EPA, 1993b). El encargado del inventario debe revisar las calificaciones de los datos y de los factores de emisión asociados con las fuentes más importantes del inventario. Si los estimados de emisión para una fuente importante han sido desarrollados con base en datos o factores de emisión con baja calificación, deben hacerse intentos posteriores para obtener datos específicos del sitio o de la región.

Los criterios para asignar las calificaciones sobre la calidad de los datos en las pruebas fuente son los siguientes:

- Las pruebas con calificación A son las desarrolladas con metodologías bien fundamentadas y reportadas con detalle suficiente para soportar una validación adecuada. Estas pruebas no se hacen necesariamente con los métodos de prueba de referencia de la U.S. EPA, si bien éstos pueden ser usados como guía
- Las pruebas con calificación B son generalmente desarrolladas con metodologías bien fundamentadas, pero sin el nivel de detalle necesario para ser validadas
- Las pruebas con calificación C utilizan metodologías no validadas o de prueba, o carecen de datos de antecedentes significativos que los fundamenten
- Las pruebas con calificación D, se basan en métodos que en general no son aceptables pero que pueden proporcionar un valor de orden de magnitud para la fuente.

Una vez que las calificaciones sobre calidad de los datos para las pruebas de fuente han sido asignadas, son evaluadas junto con el número de pruebas de fuente disponibles para un punto de emisión dado. Debido a que la tarea de asignar un límite de confianza significativo a las variables específicas de la industria (por ejemplo tamaño de la muestra contra población, variabilidad entre industria y establecimiento, o método de medición) es prácticamente imposible, el uso de un intervalo de confianza estadístico para establecer un factor de emisiones representativo para cada categoría de fuente, en general no es práctico. Por consiguiente, es necesario algún tipo de calificación subjetiva. Las siguientes calificaciones sobre calidad de los factores de emisión se utilizan para los factores encontrados en *AP-42*, *FIRE*, o en cualquier documento publicado por la U.S. EPA.

A - Excelente - El factor de emisión fue desarrollado solamente a partir de datos de pruebas con calificación A, tomados de numerosos establecimientos seleccionados de manera aleatoria dentro de la industria. La categoría de la fuente es lo suficientemente específica como para minimizar la variabilidad dentro del total de categorías de fuente.

B - Arriba del Promedio - El factor de emisión se desarrolló solamente con datos de pruebas con calificación A provenientes de un número razonable de establecimientos. Si bien no es evidente un sesgo específico, no queda claro si las plantas examinadas constituyen una muestra representativa de la industria. Al igual que con la calificación A, la categoría de fuente es lo suficientemente específica como para minimizar la variabilidad dentro del total de categorías de fuente.

C - Promedio - El factor de emisión se desarrolló solamente con datos de pruebas con calificación A y B de un número razonable de establecimientos. Si bien no es evidente un sesgo específico, no queda claro si las plantas examinadas constituyen una muestra representativa de la industria. Al igual que con las calificaciones A y B, la categoría de fuente es lo suficientemente específica como para minimizar la variabilidad dentro del total de categorías de la fuente.

D - Debajo del Promedio - El factor se desarrolló solamente con datos de exámenes con calificación A y B de un número pequeño de establecimientos, y hay razón para sospechar que éstas no constituyen una muestra representativa de la industria. Puede también existir evidencia de variabilidad dentro del total de categorías de la fuente.

E - Mala - El factor se desarrolló solamente con datos de pruebas con calificación C y D, y hay razones para suponer que los establecimientos examinados no constituyen una muestra significativa de la industria. También puede existir evidencia de variabilidad dentro del total de categorías de la fuente.

U - No calificada o Incalificable - El factor se desarrolló con datos inferidos o sin fundamento documental alguno. Una calificación "U" puede aplicarse en las siguientes circunstancias (FIRE):

U1 - Balance de Masa (para estimar, por ejemplo, emisiones atmosféricas con base en insumos materiales, eficiencia de recuperación de un producto o control porcentual).

U2 - Deficiencias en la prueba de fuente (tales como control y aseguramiento de calidad inadecuados, métodos de examen cuestionables, o existencia de una sola prueba).

U3 - Transferencia tecnológica.

U4 - Juicio Ingenieril.

U5 - Falta de documentación de apoyo.

7.3.3. Balance de Materiales

Si el método de balance de masa es usado para estimar las emisiones, el responsable del desarrollo del inventario debe:

- Asegurar que todos los supuestos sean razonables
- Asegurar que todos los puntos finales y las rutas sean identificados y cuantificados

- Asegurar que todos los datos sean precisos
- Revisar que las emisiones sean razonables (comparando con los resultados de años anteriores o con otros puntos de referencia).

7.3.4. Modelos de Emisión

Si se utiliza un modelo para estimar las emisiones, el responsable del desarrollo del inventario debe:

- Verificar la precisión de los datos de entrada
- Verificar la calidad del software utilizado
- De ser posible, verificar los resultados de los modelos mediante cálculos manuales, o comparándolos con los resultados de métodos alternativos
- Revisar que las emisiones resultantes sean razonables (comparando con los resultados de años anteriores o con otros puntos de referencia).

8.0. PROCEDIMIENTOS DE CODIFICACION DE DATOS

La codificación de datos es una parte integral del inventario de emisiones. El utilizar códigos únicos para los datos del inventario permite asegurar que la información guardada adecuadamente y es recuperable. Cada establecimiento, por ejemplo, debe tener asignado un número único de identificación (ver Sección 8.2.). Si fuera preciso revisar los inventarios para actualizarlos o analizarlos, la información codificada de una manera exclusiva facilita el proceso.

Para que la información sea transferible a otros usuarios, debe ser presentada en un formato consistente y que pueda reconocerse. Todas las actividades de inventariado en una entidad deben estar coordinadas para que las tareas de almacenamiento y recuperación de la información se realicen sin contratiempo. Para que un sistema de codificación de datos sea útil debe permitir:

- La identificación del tipo de datos que contiene
- El almacenamiento y recuperación de datos específicos.

8.1. Códigos de Identificación de Establecimientos

Para poder analizar o actualizar el inventario de un establecimiento, cada planta debe recibir un código único de identificación. Al respecto, se sugiere hacer lo siguiente:

- Usar un número predeterminado de caracteres en un código (por ejemplo, una letra seguida de cuatro números)

- Hacer que el código de identificación de un establecimiento sea corto (para ahorrar tiempo en la captura y reducir las probabilidades de error)
- Al usar una letra dentro del código se incrementa significativamente el número de combinaciones únicas que se pueden lograr.

Dentro de un establecimiento, cada unidad de emisión (UE), punto de emisión (PE) y equipo de control (EC) deben ser identificados con un código único, por ejemplo: UE1, PE1, PE2 y EC1, EC2, etc.

8.2. Procedimientos de Codificación de Datos del SNIFF

Actualmente, la información compilada a través de la encuesta industrial del INE se integra en la base de datos del Sistema Nacional de Información de Fuentes Fijas (SNIFF). Los parámetros, cantidad de códigos y número de campos de información disponibles en el SNIFF se presentan en la Tabla 8-1.

Los códigos usados para los datos que se incluyen en el SNIFF fueron desarrollados específicamente para el Programa de Inventario de Emisiones del INE, y están incluidos en los catálogos internos de códigos del Instituto. La codificación y captura de los datos, en general son realizadas por personal del INE. Para obtener una copia del catálogo de códigos es recomendable solicitarlo a la Subdirección de Inventario de Emisiones del INE.

En la medida en que el proceso de inventariado en México se desarrolla, y el reporte y almacenamiento electrónico de datos se hace más sofisticado, se requiere un método más descriptivo y preciso para identificar la actividad industrial. El sistema de Código de Clasificación de Fuentes descrito en la Sección 8.3., por ejemplo, introduce un concepto más extenso para aplicar códigos de identificación únicos a procesos individuales.

Tabla 8-1

Características de Identificación del Sistema de Codificación del SNIFF

Parámetro	Número Aproximado de Códigos	Número de Campos
Ubicación	Por distrito, estado y municipio	3
Actividad de la empresa (sector industrial)	450 ^a	1
Tipo de proceso	396	1 (sólo el proceso principal)
Maquinaria y equipo	350	5 (uno para cada fase del proceso)
Materias primas	2,000	6
Productos	22,000	7
Combustibles	13	1
Unidades de combustible	28	1
Contaminantes	100 ^b	5
Equipos de control	170	10 (2 para cada fase del proceso)
Capacidad del equipo de control	22	1

^a El sistema de clasificación que es utilizado por el SNIFF para identificar las actividades industriales tiene 7 dígitos. Las primeras dos cifras corresponden al nivel de severidad o potencial de contaminación industrial de un ramo industrial determinado (01 para el grupo de los emisores más grandes; 02 para los siguientes emisores más grandes; 03 para los emisores menores, o aquellos que se consideran como fuentes de área). Los siguientes dos dígitos identifican el ramo o sector industrial (0101 para las plantas de generación eléctrica; 0102 para las refinerías petroleras y plantas petroquímicas; 0103 para los procesos químicos, etc.). Los últimos tres dígitos corresponden al subsector dentro del ramo industrial (0103002 para la fabricación de amoníaco y sus derivados; 0102004 para la fabricación de ácido nítrico).

^b Sólo se reportan los contaminantes criterio.

8.3. Códigos de Clasificación de Fuentes

Muchas bases de datos utilizan códigos de clasificación de fuentes (CCFs) para relacionar los datos de emisiones con tipos específicos de tecnología. Cada código representa un proceso o función único dentro de una categoría de fuente que se asocia lógicamente con un punto de emisiones de contaminantes. Con un código de identificación apropiado, un proceso puede ser identificado con precisión para los propósitos de recuperación de la información.

Los CCFs están divididos en cuatro niveles: I, II, III y IV, que tienen 1, 2, 3, y 2 dígitos, respectivamente. El nivel I identifica la categoría del proceso con un número de un solo dígito, tal como se muestra en la Tabla 8-2. El segundo nivel (II) de identificación es un código de dos dígitos que indica el grupo industrial. Por ejemplo, los procesos industriales (Nivel I, código 3) están subdivididos en manufacturas químicas (3-01), alimentos/agricultura (3-02), metales primarios (3-03), etc. El tercer nivel, un número de tres dígitos, indica el producto principal, materia prima, combustible, o pieza de equipo. El cuarto nivel de clasificación, un número de dos dígitos, identifica diferentes operaciones en la fuente puntual. La Figura 8-1 presenta el ejemplo de la asignación de un CCF para una planta eléctrica que quema carbón bituminoso pulverizado en un horno con fondo húmedo.

Tabla 8-2
Categorías de CCF de Nivel I

Valores del Nivel	Categoría de Proceso	Descripción de la Categoría
1	Fuentes de Combustión Externa	Calderas y calentadores de espacio
2	Fuentes de Combustión Interna	Turbinas y motores de pistón
3	Procesos Industriales	Todos los procesos industriales distintos a las fuentes de evaporación, y la combustión para vapor o energía, así como la disposición de residuos peligrosos.
4	Fuentes de Evaporación	Operaciones de recubrimiento de superficies, almacenamiento de petróleo y operaciones de impresión.
5	Disposición de Residuos Peligrosos	Incineración de residuos, tratamiento de aguas residuales, rellenos sanitarios; procesos en establecimientos de tratamiento, almacenamiento y disposición de residuos (TSDf, por sus siglas en inglés).

En algunos casos, el término “general” aparece como una descripción de proceso de CCF de cuarto nivel. Esto indica que el proceso o serie de procesos ha sido identificado y simplificado a una “caja negra” o grupo de actividades, más que como un agrupamiento complejo de fuentes de emisión relacionadas. Normalmente, los códigos CCF “Generales” son reemplazados por SCCs más específicos en el momento en que se tiene acceso a información más detallada acerca del proceso.

El término “Otras No Clasificadas” es una descripción de proceso de CCF de cuarto nivel que puede ser utilizado para representar actividades para las que no se ha definido un CCF específico; en general, ésta es representada por códigos que terminan en “99”. Si estos códigos son utilizados, es imperativo que los especialistas del inventario de emisiones capturen en un campo de comentarios de la base de datos, una descripción más detallada de las emisiones descargadas.

Una lista numérica completa de SCC está disponible en el sistema de boletines (BBS) de la Cámara de Compensación para Inventarios y Factores de Emisión (*Clearinghouse for Inventories*

and Emission Factors - CHIEF 95-919-541-5742 (línea de acceso a módem), y en la base de datos del Sistema de Recuperación de Factores de Información (FIRE). Una copia documental de la lista SCC se incluye en el Apéndice IV-E de este documento.

NIVELES I II III IV

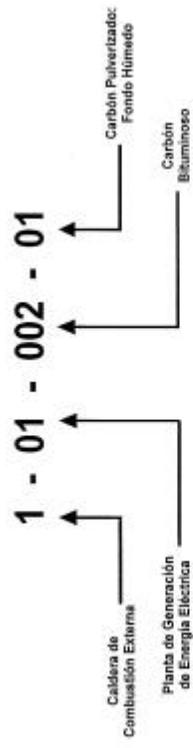


Figura 8-1. CCF para una Planta de Generación Eléctrica Alimentada con Carbon Bituminoso Pulverizado en un Horno de Fondo Humedo.

9.0. RECOPIACION DE INFORMACION

Para obtener los datos requeridos para calcular las emisiones, la recopilación de la información debe hacerse de manera adecuada. Los métodos más eficientes para obtener la información son las formas o los cuestionarios de recolección de datos. Una vez que han sido llenadas, las formas mismas deben ser conservadas como información de respaldo para el desarrollo del inventario de emisiones. Con respecto a su diseño, las formas para la recopilación de información pueden ser genéricas, pudiendo ser utilizadas en cualquier instalación, o bien, ser individuales para cada industria o tipo de equipo. La Sección 5 del Volumen III: *Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones* presenta una discusión detallada sobre la manera de inspeccionar instalaciones.

9.1. Cuestionario General

Un cuestionario general es una colección de cuestionarios sobre procesos específicos. Su uso es más frecuente si la lista de distribución es larga, si la entidad no está familiarizada con muchas de las fuentes en la lista o si sus recursos son limitados.

El desarrollo de un cuestionario implica las siguientes actividades:

- Definir un formato adecuado, tan simple y funcional como sea posible
- Identificar e incluir las preguntas apropiadas
- Desarrollar una carta de presentación, portada e instrucciones para llenar el cuestionario

- Diseñar el cuestionario para la persona que lo responderá; considerar la experiencia y antecedentes técnicos de esa persona
- Diseñar el cuestionario para ser comprendido por personas que carezca de una formación técnica especializada
- Hacer un uso adecuado del espacio para las preguntas, dejando espacio suficiente para las respuestas
- Hacer el cuestionario tan corto como sea posible; los cuestionarios muy largos pueden resultar intimidantes
- Usar terminología que sea familiar a quien recibe el cuestionario
- Asegurar que cada pregunta se explique por sí misma o se tenga una explicación clara
- Solicitar toda la información necesaria a través del cuestionario, tratando de evitar peticiones adicionales de información
- Al determinar la información que se solicita, se debe considerar el uso final de los datos
- Recopilar cualesquier datos adicionales necesarios para la aplicación posterior de un modelo fotoquímico
- Solicitar información de proceso adicional a la información general sobre la fuente, tal como la ubicación, propiedad y naturaleza del negocio
- Obtener los niveles de actividad apropiados (tales como los indicadores de producción y consumo de combustibles) para cada tipo de fuente
- Obtener información sobre los instrumentos de control para estimar emisiones controladas y determinar reducciones potenciales en las emisiones para aplicar varias estrategias de control.

De acuerdo con el Artículo 17 del Reglamento en Materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica, los responsables de las fuentes puntuales de jurisdicción federal que emitan olores, gases, partículas sólidas o líquidos a la atmósfera deben presentar un inventario de sus emisiones contaminantes. El INE ha desarrollado dos cuestionarios para recopilar esta información. Los datos que se obtienen de la encuesta industrial (Formato LF-CO) y el cuestionario a la microindustria (Formato IE-MI) se integran a la base de datos del SNIFF (ver Sección 8.2.) Ambos cuestionarios están contenidos en el Apéndice IV-F.

10. REFERENCIAS

Buonicore, Anthony J., and Wayne T. Davis, Editors. 1992. Chapter 1: *Air Pollution Control Engineering*. *Air Pollution Engineering Manual*. Van Nostrand Reinhold. New York, New York.

Cooper, C. and F. Alley. 1994. *Air Pollution Control: A Design Approach*. Waveland Press. Prospect Heights, Illinois.

EIIP. Volume II. Chapter 1. July 1995a. *Introduction to Stationary Point Sources Emission Inventory Development, revised working draft*. Comité para las Fuentes Puntuales, Mejoramiento del Programa del Inventario de Emisiones y Corporación Radian, Research Triangle Park, North Carolina. La dirección de Internet más reciente es: <http://ttnwww.rtpnc.epa.gov>.

EIIP. Volume II. Chapter 2. July 1995b. *Preferred and Alternative Methods for Estimating Air Emissions from Boilers, final report*. Comité para las Fuentes Puntuales, Mejoramiento del Programa del Inventario de Emisiones y Corporación Radian. Research Triangle Park, North Carolina.

EIIP. Volume VI. October 1995c. *Quality Assurance Procedures for the Emission Inventory Improvement Program, external draft*. Comité de Aseguramiento de Calidad, Mejoramiento del Programa del Inventario de Emisiones y Corporación Radian. Research Triangle Park, North Carolina.

Nevers, Noel de. 1995. *Air Pollution Control Engineering*. McGraw-Hill, New York, New York.

SEMARNAP. 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-086-ECOL-1994.

U.S. EPA, 1983. Guidelines for Assessing and Reporting Data Quality for Environmental Measurements.

U.S. EPA. February 1984. *Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems: Volume III. Stationary Source Specific Methods*. U.S. EPA-600/4-77-027b. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio.

U.S. EPA. January 1990. *OAQPS Control Cost Manual, Fourth Edition*. EPA 450/3-90-006. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, North Carolina.

U.S. EPA. June 1991. *Control Technologies for Hazardous Air Pollutants Handbook*. U.S. EPA-625/6-91/014. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. Washington, D.C.

U.S. EPA. September 1993a. *Introduction to Pollution Emission Estimation Techniques for Industry, final report*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, North Carolina.

U.S. EPA. October 1993b. *Technical Procedures of Developing AP-42 Emission Factors and Preparing AP-42 Sections*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, North Carolina.

U.S. EPA. 1993c. TANKS Software Program, Version 2.0. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, North Carolina.

U.S. EPA. 1994. WATER8 Software Program. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, North Carolina.

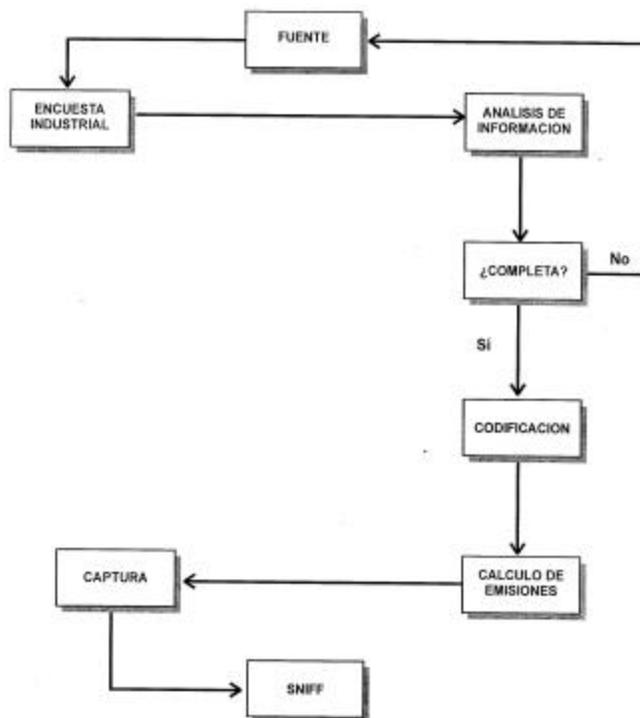
U.S. EPA. January 1995a. *Compilation of Air Pollutant Emission Factors-Volume I: Stationary Point and Area Sources, Fifth Edition, AP-42*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standard. Research Triangle Park, North Carolina.

U.S. EPA. June 1995b. *Factor Information Retrieval System (FIRE), Version 4.0*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, North Carolina.

U.S. EPA. November 1995c. *Protocol for Equipment Leak Emission Estimates*, U.S. EPA-453/R-95-017; U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina.

APENDICE IV-A

PROCESO DE DESARROLLO DEL INVENTARIO DE FUENTES PUNTUALES DEL INE



Metodología de Integración de Inventarios

METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DEL INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES

I. RECEPCION DE ENCUESTA INDUSTRIAL

Como primer paso se realiza la recepción y revisión de la Encuesta Industrial conforme al formato LFCO. Este trámite está fundamentado en el Reglamento de la Ley General Del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica, en sus Artículos 17, 20 y 21 (Capítulo II, que trata de la emisión de contaminantes a la atmósfera, generada por fuentes puntuales), y aplican a las Zonas y Fuentes de la Jurisdicción Federal consideradas en el Artículo 11 (Capítulo I, referente a Disposiciones generales).

Este trámite se efectúa en las 31 Subdelegaciones de Protección Ambiental de la SEDESOL, cada una pertenecientes a las 31 entidades federativas del País y en el DF, se realiza conforme el Artículo 9 (Capítulo I) de dicho reglamento.

II. ANALISIS DE INFORMACION

Este segundo paso consiste en un análisis detallado de la información presentada en cada uno de los puntos que estructuran el formato LFCO. Este tiene la finalidad de verificar que la información esté completa y que, además, sea congruente, para validarla y procesarla en el Sistema. Si dicha información no cumple con la el objetivo de este punto, se solicita al industrial o al responsable de la información que la complementa con los anexos necesarios y/o la aclare.

III. CALCULO DE EMISIONES

A partir de la información presentada sobre procesos, consumos de materias primas, consumos de combustibles y productos, se hace un cálculo teórico de las emisiones generadas en la fuente puntual (industria) por medio de factores de emisión, que son consultados del AP 42 Compliance of Air Pollutant Emission Factors, publicado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) de EU, con los cuales se pueden obtener estimaciones de emisiones contaminantes por tipo de proceso.

Algunas veces, la información de la encuesta industrial en cuanto a emisiones a la atmósfera se apoya en estudios de monitoreo puntual, los cuales arrojan tasas de emisiones contaminantes. Estos valores se pueden comparar, en un primer paso, con los valores obtenidos por medio de factores de emisiones; y en un segundo paso, los valores medidos y estimados teóricos se pueden comparar con un balance de materiales para emisiones. Estas comparaciones tienen el objetivo de determinar los valores representativos de emisiones generadas en la fuente, los cuales se codificarán y formarán parte de la Base de Datos que integra el SNIFF

IV. CODIFICACION

Una vez que toda la información ha sido verificada y validada, y las tasas de emisiones contaminantes han sido determinadas, se procede a la codificación en un formato de codificación diseñado para facilitar el proceso de captura, para integrar la base de datos (DATGEN), que es creada por el SNIFF

Para realizar esta codificación se cuenta con una serie de catálogos (17 en total) en donde se tienen claves de materias primas, contaminantes, equipos de proceso, equipos de control, contaminantes, combustibles, procesos, etc.

V. CAPTURA

Como paso final la información del formato de codificación se captura en el SNIFF, que es un programa integrado en su menú principal por cinco opciones: ALTAS, BAJAS, CAMBIOS, CONSULTAS y SALIR. La creación de una base de datos estructurada en DBASE denominada DATGEN es simultánea a la captura de datos en este programa.

APENDICE IV-B

DATOS MISCELANEOS Y FACTORES DE CONVERSION

ALGUNOS PESOS Y MEDIDAS DE UTILIDAD

Unidad de Medición	Equivalente
grano	0.002 onzas
gramo	0.04 onzas
onza	28.35 gramos
kilogramo	2.21 libras
libra	0.45 kilogramos
libra (troy)	12 onzas
tonelada (corta)	2000 libras
tonelada (larga)	2240 libras
tonelada (métrica)	2200 libras
tonelada (embarque)	40 pies ³
centímetro	0.39 pulgadas
pulgada	2.54 centímetros
pie	30.48 centímetros
metro	1.09 yardas
yarda	0.91 metros
milla	1.61 kilómetros
centímetro ²	0.16 pulgadas ²
pulgada ²	6.45 centímetros ²
pie ²	0.09 metros ²
metro ²	1.2 yardas ²
yarda ²	0.84 metros ²
milla ²	2.59 kilómetros ²
centímetro ³	0.061 pulgadas ³
pulgada ³	16.39 centímetros ³
pie ³	283.17 centímetros ³
pie ³	1728 pulgadas ³
metro ³	1.31 yardas ³
yarda ³	0.77 metros ³
cuerda	128 pies ³
cuerda	4 metros ³
peck	8 cuartos

**ALGUNOS PESOS Y MEDIDAS DE UTILIDAD
(Continuación)**

Unidad de Medición	Equivalente
bushel (seco)	4 pecks
bushel	2150.4 pulgadas ³
galón (EU)	231 pulgadas ³
barril	31.5 galones
hogshead	2 barriles
township	36 millas ²
hectárea	2.5 acres

DATOS MISCELANEOS

- Un pie cúbico de carbón de antracita pesa alrededor de 53 libras.
- Un pie cúbico de carbón de bituminoso pesa alrededor de 47 a 50 libras.
- Una tonelada de carbón es equivalente a dos cuerdas de madera para propósitos de vapor.
- Un galón de agua (Estándar EU) pesa 8.33 libras y contiene 231 pulgadas cúbicas.
- Existen 9 pies cuadrados de superficie calorífica por cada pie cuadrado de superficie de malla.
- Un pie cúbico de agua contiene 7.5 galones y 1728 pulgadas cúbicas, y pesa 62.5 lbs.
- Cada caballo de fuerza nominal de una caldera requiere de 30 a 35 libras de agua por hora.
- Un caballo de fuerza es equivalente a levantar 33,000 libras pie por minuto, ó 550 libras pie por segundo.
- Para encontrar la presión en libras por pulgada cuadrada de una columna de agua, multiplicar la altura de la columna en pies por 0.434.

PARAMETROS TÍPICOS DE DIVERSOS COMBUSTIBLES^a

Tipo de Combustible	Valor Calorífico		Azufre % (por peso)	Ceniza % (por peso)
	kcal	Btu		
Combustibles Sólidos				
Carbón Bituminoso	7,200/kg	13,000/lb	0.6-5.4	4-20
Carbón de Antracita	6,810/kg	12,300/lb	0.5-1.0	7.0-16.0
Lignita (@ 35% humedad)	3,990/kg	7,200/lb	0.7	6.2
Madera (@ 40% humedad)	2,880/kg	5,200/lb	N	1-3
Bagazo (@ 50% humedad)	2,220/kg	4,000/lb	N	1-2
Corteza (@ 50% humedad)	2,492/kg	4,500/lb	N	1-3 ^b
Coque, Derivados	7,380/kg	13,300/lb	0.5-1.0	0.5-5.0
Combustibles Líquidos				
Aceite Residual	9.98 x 10 ⁶ /m ³	150,000/gal	0.5-4.0	0.05-0.1
Aceite Destilado	9.30 x 10 ⁶ /m ³	140,000/gal	0.2-1.0	D
Diesel	9.12 x 10 ⁶ /m ³	137,000/gal	0.4	D
Gasolina	8.62 x 10 ⁶ /m ³	130,000/gal	0.03-0.04	D
Queroseno	8.32 x 10 ⁶ /m ³	135,000/gal	0.02-0.05	D
Gas Licuado	6.25 x 10 ⁶ /m ³	94,000/gal	D	D
Combustibles Gaseosos				
Gas Natural	9,341/m ³	1,050/SCF	D	D
Gas de Hornos de Coque	5,249/m ³	590/SCF	0.5-2.0	D
Gas de Horno de Chorro de Aire	890/ m ³	100/SCF	D	D

^aD = Despreciable.

^bEl contenido de ceniza puede ser considerablemente más elevado cuando existe arena o suciedad.

EQUIVALENTES TERMICOS PARA DIVERSOS COMBUSTIBLES

Tipo de Combustible	kcal	Btu (grueso)
Combustibles Sólidos		
Carbón Bituminoso	$(5.8 \text{ a } 7.8) \times 10^6/\text{mg}$	$(21.0 \text{ a } 28.0) \times 10^6/\text{ton}$
Carbón de Antracita	$7.03 \times 10^6/\text{mg}$	$25.3 \times 10^6/\text{ton}$
Lignita	$4.45 \times 10^6/\text{mg}$	$16.0 \times 10^6/\text{ton}$
Madera	$1.47 \times 10^6/\text{metro cúbico}$	$21.0 \times 10^6/\text{cuerda}$
Combustibles Líquidos		
Aceite Residual Destilado	$10 \times 10^3/\text{litro}$	$6.3 \times 10^6/\text{bbl}$
Combustóleo Destilado	$9.35 \times 10^3/\text{litro}$	$5.9 \times 10^6/\text{bbl}$
Combustibles Gaseosos		
Gas Natural	$9,350/\text{metro cúbico}$	$1,050/\text{ft}^3$
Gas LP		
Butano	$6,480/\text{litro}$	$97,400/\text{gal}$
Propano	$6,030/\text{litro}$	$90,500/\text{gal}$

PESO DE SUSTANCIAS SELECCIONADAS

Tipo de Sustancia	g/litro	lb/gal
Asfalto	1030	8.57
Butano, líquido a 60°F	579	4.84
Petróleo crudo	850	7.08
Petróleo destilado	845	7.05
Gasolina	739	6.17
Propano, líquido a 60°F	507	4.24
Aceite residual	944	7.88
Agua	1000	8.4

DENSIDADES DE SUSTANCIAS SELECCIONADAS

Sustancia	Densidad	
Combustibles		
Petróleo Crudo	874 kg/metro cúbico	7.3 lb/gal
Aceite Residual	944 kg/metro cúbico	7.88 lb/gal
Petróleo Destilado	845 kg/metro cúbico	7.05 lb/gal
Gasolina	739 kg/metro cúbico	6.17 lb/gal
Gas Natural	673 kg/metro cúbico	1 lb/23.8 ft ³
Butano	579 kg/metro cúbico	4.84 lb/gal (líquido)
Propano	507 kg/metro cúbico	4.24 lb/gal (líquido)
Madera (Secada con Aire)		
Olmo	561 kg/metro cúbico	35 lb/ft ³
Abeto, Douglas	513 kg/metro cúbico	32 lb/ft ³
Abeto, Balsam	400 kg/metro cúbico	25 lb/ft ³
Tsuga	465 kg/metro cúbico	29 lb/ft ³
Nogal	769 kg/metro cúbico	48 lb/ft ³
Maple, Azucarero	689 kg/metro cúbico	43 lb/ft ³
Maple, Blanco	529 kg/metro cúbico	33 lb/ft ³
Encino, Rojo	673 kg/metro cúbico	42 lb/ft ³
Encino, Blanco	769 kg/metro cúbico	48 lb/ft ³
Pino	641 kg/metro cúbico	40 lb/ft ³
Productos Agrícolas		
Maíz	25.4 kg/bu	56 lb/bu
Sorgo	25.4 kg/bu	56 lb/bu
Avenas	14.5 kg/bu	32 lb/bu
Cebada	21.8 kg/bu	48 lb/bu
Trigo	27.2 kg/bu	60 lb/bu
Algodón	226 kg/paca	500 lb/paca
Productos Minerales		
Ladrillo	2.95 kg/ladrillo	6.5 lb/ladrillo
Cemento	170 kg/bbl	375 lb/bbl
Cemento	1483 kg/metro cúbico	2500 lb/yd ³
Concreto	2373 kg/metro cúbico	4000 lb/yd ³

DENSIDADES DE SUSTANCIAS SELECCIONADAS (Continuación)

Sustancia	Densidad	
Vidrio, Común	2595 kg/metro cúbico	162 lb/ft ³
Grava, Empacada en Seco	1600 - 1920 kg/metro cúbico	100 - 120 lb/ft ³
Grava, Húmeda	2020 kg/metro cúbico	126 lb/ft ³
Yeso, Calcinado	880 - 960 kg/metro cúbico	55 - 60 lb/ft ³
Caliza, Cantos Rodados	850 - 1025 kg/metro cúbico	53 - 64 lb/ft ³
Arena, Grava (seca, suelta)	1440 - 1680 kg/metro cúbico	90 - 105 lb/ft ³

FACTORES DE CONVERSION

La tabla que se presenta en las siguientes páginas contienen los factores para convertir de unidades inglesas a unidades métricas, de unidas métricas a unidades inglesas, así como los factores para manipular las unidades dentro del mismo sistema. Estos factores están organizados alfabéticamente por unidad dentro de los siguientes grupos:

- Area
- Densidad
- Energía
- Fuerza
- Longitud
- Masa
- Presión
- Velocidad
- Volumen
- Tasa Volumétrica

Para convertir un número de una unidad a otra:

1. Localizar la unidad en la que el número está siendo expresado en la columna izquierda de la tabla
2. Encontrar la unidad deseada en el centro de la columna
3. Multiplicar el número por el factor de conversión correspondiente en la columna de la derecha.

FACTORES DE CONVERSION^a

Para Convertir de...	A...	Multiplicar Por...
Area		
Acres	Pies cuadrados	4.356×10^4
Acres	Kilómetros cuadrados	4.0469×10^{-3}
Acres	Metros cuadrados	4.0469×10^3
Acres	Millas cuadradas (estatuto)	1.5625×10^{-3}
Acres	Yardas cuadradas	4.84×10^3
Pies cuadrados	Acres	2.2957×10^{-5}
Pies cuadrados	Centímetros cuadrados	929.03
Pies cuadrados	Pulgadas cuadradas	144.0
Pies cuadrados	Metros cuadrados	0.092903
Pies cuadrados	Millas cuadradas	3.587×10^{-8}
Pies cuadrados	Yardas cuadradas	0.111111
Pulgadas cuadradas	Pies cuadrados	6.9444×10^{-3}
Pulgadas cuadradas	Metros cuadrados	6.4516×10^{-4}
Pulgadas cuadradas	Milímetros cuadrados	645.16
Kilómetros cuadrados	Acres	247.1
Kilómetros cuadrados	Pies cuadrados	1.0764×10^7
Kilómetros cuadrados	Metros cuadrados	1.0×10^6
Kilómetros cuadrados	Millas cuadradas	0.386102
Kilómetros cuadrados	Yardas cuadradas	1.196×10^6
Metros cuadrados	Centímetros cuadrados	1.0×10^4
Metros cuadrados	Pies cuadrados	10.764
Metros cuadrados	Pulgadas cuadradas	1.55×10^3
Metros cuadrados	Kilómetros cuadrados	1.0×10^{-6}
Metros cuadrados	Millas cuadradas	3.861×10^{-7}
Metros cuadrados	Milímetros cuadrados	1.0×10^6
Metros cuadrados	Yardas cuadradas	1.196
Millas cuadradas	Acres	640.0
Millas cuadradas	Pies cuadrados	2.7878×10^7
Millas cuadradas	Kilómetros cuadrados	2.590
Millas cuadradas	Metros cuadrados	2.59×10^6
Millas cuadradas	Yardas cuadradas	3.0976×10^6

Para Convertir de...	A...	Multiplicar Por...
Yardas cuadradas	Acres	2.0661×10^{-4}
Yardas cuadradas	Centímetros cuadrados	8.3613×10^3
Yardas cuadradas	Pies cuadrados	9.0
Yardas cuadradas	Pulgadas cuadradas	1.296×10^3
Yardas cuadradas	Metros cuadrados	0.83613
Yardas cuadradas	Millas cuadradas	3.2283×10^{-7}
Densidad		
dinas/centímetro cúbico	Gramos/centímetros cúbicos	1.0197×10^{-3}
Granos/pie cúbico	Gramos/metro cúbico	2.28835
Gramos/centímetro cúbico	Dinas/centímetros cúbicos	980.665
Gramos/centímetro cúbico	Granos/mililitro	15.433
Gramos/centímetro cúbico	Gramos/mililitro	1.0
Gramos/centímetro cúbico	Libras/pulgada cúbica	1.162
Gramos/centímetro cúbico	Libras/pie cúbico	62.428
Gramos/centímetro cúbico	Libras/pulgada cúbica	0.036127
Gramos/centímetro cúbico	Libras/gal (Brit.)	10.022
Gramos/centímetro cúbico	Libras/gal (seca, EU)	9.7111
Gramos/centímetro cúbico	Libras/gal (líquida, EU)	8.3454
Gramos/metro cúbico	Granos/pie cúbico	0.4370
Gramos/litro	Libras/gal (EU)	8.345×10^{-3}
Kilogramos/metro cúbico	Gramos/centímetros cúbicos	0.001
Kilogramos/metro cúbico	Libras/pies cúbicos	0.0624
Kilogramos/metro cúbico	Libras/pulgadas cúbicas	3.613×10^{-5}
Libras/pie cúbico	Gramos/centímetros cúbicos	0.016018
Libras/pie cúbico	kg/metro cúbico	16.018
Libras/pulgada cúbica	Gramos/centímetros cúbicos	27.68
Libras/pulgada cúbica	Gramos/litro	27.681
Libras/pulgada cúbica	kg/metro cúbico	2.768×10^4
Libras/gal (líquido, EU)	Gramos/centímetro cúbico	0.1198
Libras/gal (líquido, EU)	Libras/pies cúbicos	7.4805
Energía		
Btu	Cal. gm (IST.)	251.83
Btu	Ergios	1.05435×10^{10}

Para Convertir de...	A...	Multiplicar Por...
Btu	Pie-libras	777.65
Btu	Hp-horas	3.9275×10^{-4}
Btu	Joules (Int.)	1054.2
Btu	kg-metros	107.51
Btu	Kw-horas (Int.)	2.9283×10^{-4}
Btu/hr	Cal. kg/hr	0.252
Btu/hr	Ergios/seg	2.929×10^6
Btu/hr	Pie-libras/hr	777.65
Btu/hr	Caballo de fuerza (mecánico)	3.9275×10^{-4}
Btu/hr	Caballo de fuerza (caldera)	2.9856×10^{-5}
Btu/hr	Caballo de fuerza (eléctrico)	3.926×10^{-4}
Btu/hr	Caballo de fuerza (métrico)	3.982×10^{-4}
Btu/hr	Kilowatts	2.929×10^{-4}
Btu/lb	Pie-libras/lb	777.65
Btu/lb	Hp-hr/lb	3.9275×10^{-4}
Btu/lb	Joules/gramo	2.3244
Calorías, kg (media)	Btu (IST.)	3.9714
Calorías, kg (media)	Ergios	4.190×10^{10}
Calorías, kg (media)	Pie-libras	3.0904×10^3
Calorías, kg (media)	Hp-horas	1.561×10^{-3}
Calorías, kg (media)	Joules	4.190×10^3
Calorías, kg (media)	kg-metros	427.26
Calorías, kg (media)	kW-horas (Int.)	1.1637×10^{-3}
Ergios	Btu	9.4845×10^{-11}
Ergios	Pie-poundales	2.373×10^{-6}
Ergios	Pie-libras	7.3756×10^{-8}
Ergios	Joules (Int.)	9.99835×10^{-8}
Ergios	kW-horas	2.7778×10^{-14}
Ergios	kg-metros	1.0197×10^{-8}
Pie-libras	Btu (IST.)	1.2851×10^{-3}
Pie-libras	Cal. kg (IST.)	3.2384×10^{-4}
Pie-libras	Ergios	1.3558×10^7
Pie-libras	Pie-poundales	32.174

Para Convertir de...	A...	Multiplicar Por...
Pie-libras	Hp-horas	5.0505×10^{-7}
Pie-libras	Joules	1.3558
Pie-libras	kg-metros	0.138255
Pie-libras	kW-horas (Int.)	3.76554×10^{-7}
Pie-libras	Newton-metros	1.3558
Pie-libras/hr	Btu/min	2.1432×10^{-5}
Pie-libras/hr	Ergios/min	2.2597×10^5
Pie-libras/hr	Caballo de fuerza (mecánico)	5.0505×10^{-7}
Pie-libras/hr	Caballo de fuerza (métrico)	5.121×10^{-7}
Pie-libras/hr	Kilowatts	3.766×10^{-7}
Caballo de fuerza (mecánico)	Btu (media)/hr	2.5425×10^3
Caballo de fuerza (mecánico)	Ergios/seg	7.457×10^9
Caballo de fuerza (mecánico)	Pie-libras/hr	1.980×10^6
Caballo de fuerza (mecánico)	Caballo de fuerza (caldera)	0.07602
Caballo de fuerza (mecánico)	Caballo de fuerza (eléctrico)	0.9996
Caballo de fuerza (mecánico)	Caballo de fuerza (métrico)	1.0139
Caballo de fuerza (mecánico)	Joules/seg	745.70
Caballo de fuerza (mecánico)	Kilowatts (Int.)	0.74558
Caballo de fuerza (caldera)	Btu (media)/hr	3.3446×10^4
Caballo de fuerza (caldera)	Ergios/seg	9.8095×10^{10}
Caballo de fuerza (caldera)	Pie-libras/min	4.341×10^5
Caballo de fuerza (caldera)	Caballo de fuerza (mecánico)	13.155
Caballo de fuerza (caldera)	Caballo de fuerza (eléctrico)	13.15
Caballo de fuerza (caldera)	Caballo de fuerza (métrico)	13.337
Caballo de fuerza (caldera)	Joules/seg	9.8095×10^3
Caballo de fuerza (caldera)	Kilowatts	9.8095
Caballo de fuerza (eléctrico)	Btu (media)/hr	2.5435×10^3
Caballo de fuerza (eléctrico)	Cal. kg/hr	641.87
Caballo de fuerza (eléctrico)	Ergios/seg	7.46×10^9
Caballo de fuerza (eléctrico)	Pie-libras/min	3.3013×10^4
Caballo de fuerza (eléctrico)	Caballo de fuerza (caldera)	0.07605
Caballo de fuerza (eléctrico)	Caballo de fuerza (métrico)	1.0143
Caballo de fuerza (eléctrico)	Joules/seg	746.0

Para Convertir de...	A...	Multiplicar Por...
Caballo de fuerza (eléctrico)	Kilowatts	0.746
Caballo de fuerza (métrico)	Btu (media)/hr	2.5077×10^3
Caballo de fuerza (métrico)	Ergios/seg	7.355×10^9
Caballo de fuerza (métrico)	Pie-libras/min	3.255×10^4
Caballo de fuerza (métrico)	Caballo de fuerza (mecánico)	0.98632
Caballo de fuerza (métrico)	Caballo de fuerza (caldera)	0.07498
Caballo de fuerza (métrico)	Caballo de fuerza (eléctrico)	0.9859
Caballo de fuerza (métrico)	kg-metros/seg	75.0
Caballo de fuerza (métrico)	Kilowatts	0.7355
Caballo de fuerza-horas	Btu (media)	2.5425×10^3
Caballo de fuerza-horas	Pie-libras	1.98×10^6
Caballo de fuerza-horas	Joules	2.6845×10^6
Caballo de fuerza-horas	kg-metros	2.73745×10^5
Caballo de fuerza-horas	kW-horas	0.7457
Joules (Int.)	Btu (IST.)	9.4799×10^{-4}
Joules (Int.)	Ergios	1.0002×10^7
Joules (Int.)	Pie-poundales	12.734
Joules (Int.)	Pie-libras	0.73768
Joules (Int.)	kW-horas	2.778×10^{-7}
Joules (Int.)/seg	Btu (media)/min	0.05683
Joules (Int.)/seg	Cal. kg/min	0.01434
Joules (Int.)/seg	Caballo de fuerza	1.341×10^{-3}
Kilogramo-metros	Btu (media)	9.2878×10^{-3}
Kilogramo-metros	Cal. kg (media)	2.3405×10^{-3}
Kilogramo-metros	Ergios	9.80665×10^7
Kilogramo-metros	Pie-poundales	232.715
Kilogramo-metros	Pie-libras	7.233
Kilogramo-metros	Hp-horas	3.653×10^{-6}
Kilogramo-metros	Joules (Int.)	9.805
Kilogramo-metros	kW-horas	2.724×10^{-6}
Kilogramo-metros/seg	Watts	9.80665
Kilowatts (Int.)	Btu (IST.)/hr	3.413×10^3
Kilowatts (Int.)	Cal. kg (IST.)/hr	860.0

Para Convertir de...	A...	Multiplicar Por...
Kilowatts (Int.)	Ergios/seg	1.0002×10^{10}
Kilowatts (Int.)	Pie-poundales/min	1.424×10^6
Kilowatts (Int.)	Pie-libras/min	4.4261×10^4
Kilowatts (Int.)	Caballo de fuerza (mecánico)	1.341
Kilowatts (Int.)	Caballo de fuerza (caldera)	0.10196
Kilowatts (Int.)	Caballo de fuerza (eléctrico)	1.3407
Kilowatts (Int.)	Caballo de fuerza (métrico)	1.3599
Kilowatts (Int.)	Joules (Int.)/hr	3.6×10^6
Kilowatts (Int.)	kg-metros/hr	3.6716×10^5
Kilowatt-horas (Int.)	Btu (media)	3.41×10^3
Kilowatt-horas (Int.)	Pie-libras	2.6557×10^6
Kilowatt-horas (Int.)	Hp-horas	1.341
Kilowatt-horas (Int.)	Joules (Int.)	3.6×10^6
Kilowatt-horas (Int.)	kg-metros	3.6716×10^5
Newton-metros	Gramo-cm	1.01972×10^4
Newton-metros	kg-metros	0.101972
Newton-metros	Libra-pies	0.73756
Fuerza		
Dinas	Toneladas Nuevas	1.0×10^{-5}
Dinas	Poundales	7.233×10^{-5}
Dinas	Libras	2.248×10^{-6}
Toneladas Nuevas	Dinas	1.0×10^{-5}
Toneladas Nuevas	Libras (avdp.)	0.22481
Poundales	Dinas	1.383×10^4
Poundales	Toneladas Nuevas	0.1383
Poundales	Libras (avdp.)	0.03108
Libras (avdp.)	Dinas	4.448×10^5
Libras (avdp.)	Toneladas Nuevas	4.448
Libras (avdp.)	Poundales	32.174
Longitud		
Pies	Centímetros	30.48
Pies	Pulgadas	12
Pies	Kilómetros	3.048×10^{-4}

Para Convertir de...	A...	Multiplicar Por...
Pies	Metros	0.3048
Pies	Millas (estatuto)	1.894×10^{-4}
Pulgadas	Centímetros	2.540
Pulgadas	Pies	0.08333
Pulgadas	Kilómetros	2.54×10^{-5}
Pulgadas	Metros	0.0254
Kilómetros	Pies	3.2808×10^3
Kilómetros	Metros	1000
Kilómetros	Millas (estatuto)	0.62137
Kilómetros	Yardas	1.0936×10^3
Metros	Pies	3.2808
Metros	Pulgadas	39.370
Micrómetros	Unidades Angstrom	1.0×10^4
Micrómetros	Centímetros	1.0×10^{-3}
Micrómetros	Pies	3.2808×10^{-6}
Micrómetros	Pulgadas	3.9370×10^{-5}
Micrómetros	Metros	1.0×10^{-6}
Micrómetros	Milímetros	0.001
Micrómetros	Nanómetros	1000
Millas (estatus)	Pies	5280
Millas (estatus)	Kilómetros	1.6093
Millas (estatus)	Metros	1.6093×10^3
Millas (estatus)	Yardas	1760
Milímetros	Unidades Angstrom	1.0×10^7
Milímetros	Centímetros	0.1
Milímetros	Pulgadas	0.03937
Milímetros	Metros	0.001
Milímetros	Micrómetros	1000
Nanómetros	Unidades Angstrom	10
Nanómetros	Centímetros	1.0×10^{-7}
Nanómetros	Pulgadas	3.937×10^{-8}
Nanómetros	Micrómetros	0.001
Nanómetros	Milímetros	1.0×10^{-6}

Para Convertir de...	A...	Multiplicar Por...
Yardas	Centímetros	91.44
Yardas	Metros	0.9144
Masa		
Granos	Gramos	0.064799
Granos	Miligramos	64.799
Granos	Libras (apot. ó troy)	1.7361×10^{-4}
Granos	Libras (avdp.)	1.4286×10^{-4}
Granos	Toneladas (métricas)	6.4799×10^{-8}
Gramos	Dinas	980.67
Gramos	Granos	15.432
Gramos	Kilogramos	0.001
Gramos	Microgramos	1×10^6
Gramos	Libras (avdp.)	2.205×10^{-3}
Gramos	Tonelads, métrico (megagramos)	1×10^{-6}
Kilogramos	Granos	1.5432×10^4
Kilogramos	Poundales	70.932
Kilogramos	Libras (apot. o troy)	2.679
Kilogramos	Libras (avdp.)	2.2046
Kilogramos	Toneladas (largo)	9.842×10^{-4}
Kilogramos	Toneladas (métrico)	0.001
Kilogramos	Toneladas (corta)	1.1023×10^{-3}
Megagramos	Toneladas (métricas)	1.0
Miligramos	Granos	0.01543
Miligramos	Gramos	1.0×10^{-3}
Miligramos	Onzas (apot. o troy)	3.215×10^{-5}
Miligramos	Onzas (avdp.)	3.527×10^{-5}
Miligramos	Libras (apot. o troy)	2.679×10^{-6}
Miligramos	Libras (avdp.)	2.2046×10^{-6}
Onzas (apot. o troy)	Granos	480
Onzas (apot. o troy)	Gramos	31.103
Onzas (apot. o troy)	Onzas (avdp.)	1.097
Onzas (avdp.)	Granos	437.5
Onzas (avdp.)	Gramos	28.350

Para Convertir de...	A...	Multiplicar Por...
Onzas (avdp.)	Onzas (apot. o troy)	0.9115
Onzas (avdp.)	Libras (apot. o troy)	0.075955
Onzas (avdp.)	Libras (avdp.)	0.0625
Libras (avdp.)	Poundales	32.174
Libras (avdp.)	Libras (apot. o troy)	1.2153
Libras (avdp.)	Toneladas (larga)	4.4643×10^{-4}
Libras (avdp.)	Toneladas (métrica)	4.5359×10^{-4}
Libras (avdp.)	Toneladas (corta)	5.0×10^{-4}
Libras (avdp.)	Granos	7000
Libras (avdp.)	Gramos	453.59
Libras (avdp.)	Onzas (apot. o troy)	14.583
Libras (avdp.)	Onzas (avdp.)	16
Tonelada (larga)	Kilogramos	1.016×10^3
Tonelada (larga)	Libras (apot. o troy)	2.722×10^3
Tonelada (larga)	Libras (avdp.)	2.240×10^3
Tonelada (larga)	Toneladas (métrica)	1.016
Tonelada (larga)	Toneladas (corta)	1.12
Tonelada (métrica)	Gramos	1.0×10^6
Tonelada (métrica)	Megagramos	1.0
Tonelada (métrica)	Libras (apot. o troy)	2.6792×10^3
Tonelada (métrica)	Libras (avdp.)	2.2046×10^3
Tonelada (métrica)	Toneladas (larga)	0.9842
Tonelada (métrica)	Toneladas (corta)	1.1023
Tonelada (corta)	Kilogramos	907.18
Toneladas (corta)	Libras (apot. o troy)	2.4301×10^3
Toneladas (corta)	Libras (avdp.)	2000
Toneladas (corta)	Tonelada (larga)	0.8929
Toneladas (corta)	Tonelada (métrica)	0.9072
Presión		
Atmósferas	cm de H ₂ O (4°C)	1.033×10^3
Atmósferas	Ft de H ₂ O (39.2°F)	33.8995
Atmósferas	In. de Hg (32°F)	29.9213
Atmósferas	kg/centímetros cuadrados	1.033

Para Convertir de...	A...	Multiplicar Por...
Atmósferas	mm de Hg (0°C)	760
Atmósferas	Libras/ pulgada cuadrada	14.696
Pulgadas de Hg (60°F)	Atmósferas	0.03333
Pulgadas de Hg (60°F)	Gramos/centímetros cuadrados	34.434
Pulgadas de Hg (60°F)	mm de Hg (60°F)	25.4
Pulgadas de Hg (60°F)	Libras/pies cuadrados	70.527
Pulgadas of H ₂ O (4°C)	Atmósferas	2.458 x 10 ⁻³
Pulgadas of H ₂ O (4°C)	In. de Hg (32°F)	0.07355
Pulgadas of H ₂ O (4°C)	kg/metro cuadrado	25.399
Pulgadas of H ₂ O (4°C)	Libras/pies cuadrados	5.2022
Pulgadas of H ₂ O (4°C)	Libras/pulgada cuadrada	0.036126
Kilogramos/centímetros cuadrados	Atmósferas	0.96784
Kilogramos/centímetros cuadrados	cm de Hg (0°C)	73.556
Kilogramos/centímetros cuadrados	Ft of H ₂ O (39.2°F)	32.809
Kilogramos/centímetros cuadrados	In. de Hg (32°F)	28.959
Kilogramos/centímetros cuadrados	Libras/pulgada cuadrada	14.223
Milímetros de Hg (0°C)	Atmósferas	1.3158 x 10 ⁻³
Milímetros de Hg (0°C)	Gramos/centímetros cuadrados	1.3595
Milímetros de Hg (0°C)	Libras/pulgada cuadrada	0.019337
Libras/pulgada cuadrada	Atmósferas	0.06805
Libras/pulgada cuadrada	cm de Hg (0°C)	5.1715
Libras/pulgada cuadrada	cm de H ₂ O (4°C)	70.309
Libras/pulgada cuadrada	In. de Hg (32°F)	2.036
Libras/pulgada cuadrada	In. de H ₂ O (39.2°F)	27.681
Libras/pulgada cuadrada	kg/centímetros cuadrados	0.07031
Libras/pulgada cuadrada	mm de Hg (0°C)	51.715
Velocidad		
Centímetros/seg	Pies/min	1.9685
Centímetros/seg	Pies/seg	0.0328
Centímetros/seg	Kilómetros/hr	0.036

Para Convertir de...	A...	Multiplicar Por...
Centímetros/seg	Metros/min	0.6
Centímetros/seg	Millas/hr	0.02237
Pies/minuto	cm/seg	0.508
Pies/minuto	Kilómetros/hr	0.01829
Pies/minuto	Metros/min	0.3048
Pies/minuto	Metros/seg	5.08×10^{-3}
Pies/minuto	Millas/hr	0.01136
Pies/seg	cm/seg	30.48
Pies/seg	Kilómetros/hr	1.0973
Pies/seg	Metros/min	18.288
Pies/seg	Millas/hr	0.6818
Kilómetros/hr	cm/seg	27.778
Kilómetros/hr	Pies/hr	3.2808×10^3
Kilómetros/hr	Pies/min	54.681
Kilómetros/hr	Metros/seg	0.27778
Kilómetros/hr	Millas (estatus)/hr	0.62137
Metros/min	cm/seg	1.6667
Metros/min	Pies/min	3.2808
Metros/min	Pies/seg	0.05468
Metros/min	Kilómetros/hr	0.06
Millas/hr	cm/seg	44.704
Millas/hr	Pies/hr	5280
Millas/hr	Pies/min	88
Millas/hr	Pies/seg	1.4667
Millas/hr	Kilómetros/hr	1.6093
Millas/hr	Metros/min	26.822
Volumen		
Barriles (Petróleo, EU)	Pies cúbicos	5.6146
Barriles (Petróleo, EU)	Galones (EU)	42
Barriles (Petróleo, EU)	Litros	158.98
Barriles (líquido, EU)	Pies cúbicos	4.2109
Barriles (líquido, EU)	Pulgadas cúbicas	7.2765×10^3
Barriles (líquido, EU)	Metros cúbicos	0.1192

Para Convertir de...	A...	Multiplicar Por...
Barriles (líquido, EU)	Galones (líquido, EU)	31.5
Barriles (líquido, EU)	Litros	119.24
Centímetros cúbicos	Pies cúbicos	3.5315×10^{-5}
Centímetros cúbicos	Pulgadas cúbicas	0.06102
Centímetros cúbicos	Metros cúbicos	1.0×10^{-6}
Centímetros cúbicos	Yardas cúbicas	1.308×10^{-6}
Centímetros cúbicos	Galones (líquido, EU)	2.642×10^{-4}
Centímetros cúbicos	Cuartos (líquido, EU)	1.0567×10^{-3}
Pies cúbicos	Centímetros cúbicos	2.8317×10^4
Pies cúbicos	Metros cúbicos	0.028317
Pies cúbicos	Galones (líquido, EU)	7.4805
Pies cúbicos	Litros	28.317
Pulgadas cúbicas	Centímetros cúbicos	16.387
Pulgadas cúbicas	Pies cúbicos	5.787×10^{-4}
Pulgadas cúbicas	Metros cúbicos	1.6387×10^{-5}
Pulgadas cúbicas	Yardas cúbicas	2.1433×10^{-5}
Pulgadas cúbicas	Galones (líquido, EU)	4.329×10^{-3}
Pulgadas cúbicas	Litros	0.01639
Pulgadas cúbicas	Cuartos (líquido, EU)	0.01732
Metros cúbicos	Barriles (líquido, EU)	8.3864
Metros cúbicos	Centímetros cúbicos	1.0×10^6
Metros cúbicos	Pies cúbicos	35.315
Metros cúbicos	Pulgadas cúbicas	6.1024×10^4
Metros cúbicos	Yardas cúbicas	1.308
Metros cúbicos	Galones (líquido, EU)	264.17
Metros cúbicos	Litros	1000
Yardas cúbicas	Bushels (Brit.)	21.022
Yardas cúbicas	Bushels (EU)	21.696
Yardas cúbicas	Centímetros cúbicos	7.6455×10^5
Yardas cúbicas	Pies cúbicos	27
Yardas cúbicas	Pulgadas cúbicas	4.6656×10^4
Yardas cúbicas	Metros cúbicos	0.76455
Yardas cúbicas	Galones	168.18

Para Convertir de...	A...	Multiplicar Por...
Yardas cúbicas	Galones	173.57
Yardas cúbicas	Galones	201.97
Yardas cúbicas	Litros	764.55
Yardas cúbicas	Cuartos	672.71
Yardas cúbicas	Cuartos	694.28
Yardas cúbicas	Cuartos	807.90
Galones (líquido, EU)	Barriles (líquido, EU)	0.03175
Galones (líquido, EU)	Barriles (Petróleo, EU)	0.02381
Galones (líquido, EU)	Bushels (EU)	0.10742
Galones (líquido, EU)	Centímetros cúbicos	3.7854×10^3
Galones (líquido, EU)	Pies cúbicos	0.13368
Galones (líquido, EU)	Pulgadas cúbicas	231
Galones (líquido, EU)	Metros cúbicos	3.7854×10^{-3}
Galones (líquido, EU)	Yardas cúbicas	4.951×10^{-3}
Galones (líquido, EU)	Galones (vino)	1.0
Galones (líquido, EU)	Litros	3.7854
Galones (líquido, EU)	Onzas (fluido, EU)	128.0
Galones (líquido, EU)	Pints (líquido, EU)	8.0
Galones (líquido, EU)	Cuartos (líquido, EU)	4.0
Litros	Centímetros cúbicos	1000
Litros	Pies cúbicos	0.035315
Litros	Pulgadas cúbicas	61.024
Litros	Metros cúbicos	0.001
Litros	Galones (líquido, EU)	0.2642
Litros	Onzas (fluido, EU)	33.814
Tasa Volumétrica		
Pies cúbicos/min	Centímetros cúbicos/seg	471.95
Pies cúbicos/min	Pies cúbicos/hr	60.0
Pies cúbicos/min	Gal (EU)/min	7.4805
Pies cúbicos/min	Litros/seg	0.47193
Metros cúbicos/min	Gal (EU)/min	264.17
Metros cúbicos/min	Litros/min	999.97
Galones (EU)/hr	Pies cúbicos/hr	0.13368

Para Convertir de...	A...	Multiplicar Por...
Galones (EU)/hr	Metros cúbicos/min	6.309×10^{-5}
Galones (EU)/hr	Yardas cúbicas/min	8.2519×10^{-5}
Galones (EU)/hr	Litros/hr	3.7854
Litros/min	Pies cúbicos/min	0.0353
Litros/min	Gal (líquido, EU)/min	0.2642

^a Donde ha sido pertinente, los factores de conversión que aparecen en esta tabla han sido redondeados de seis a cuatro cifras significativas para facilitar el uso. La precisión de estos números se considera adecuada para ser utilizada con los datos de emisiones. En caso de requerirse una cifra más precisa, deben consultarse las tablas que contienen los factores exactos.

FACTORES DE CONVERSION PARA LAS MEDICIONES COMUNES DE LA CONTAMINACION DEL AIRE

PARTICULAS SUSPENDIDAS

Para Convertir de...	A...	Multiplicar por...
Miligramos/metro cúbico	Gramos/pies cúbicos	283.2×10^{-6}
	Gramos/metros cúbicos	0.001
	Microgramos/metros cúbicos	1000.0
	Microgramos/pies cúbicos	28.32
	Libras/1000 pies cúbicos	62.43×10^{-6}
Gramos/pies cúbicos	Miligramos/metros cúbicos	35.3145×10^3
	Gramos/metros cúbicos	35.314
	Microgramos/metros cúbicos	35.314×10^6
	Microgramos/pies cúbicos	1.0×10^6
	Libras/1000 pies cúbicos	2.2046
Gramos/metros cúbicos	Miligramos/metros cúbicos	1000.0
	Gramos/pies cúbicos	0.02832
	Microgramos/metros cúbicos	1.0×10^6
	Microgramos/pies cúbicos	28.317×10^3
	Libras/1000 pies cúbicos	0.06243
Microgramos/metros cúbicos	Miligramos/metros cúbicos	0.001
	Gramos/pies cúbicos	28.317×10^{-9}
	Gramos/metros cúbicos	1.0×10^{-6}
	Microgramos/pies cúbicos	0.02832
	Libras/1000 pies cúbicos	62.43×10^{-9}
Microgramos/pies cúbicos	Miligramos/metros cúbicos	35.314×10^{-3}
	Gramos/pies cúbicos	1.0×10^{-6}
	Gramos/metros cúbicos	35.314×10^{-6}
	Microgramos/metros cúbicos	35.314
	Libras/1000 pies cúbicos	2.2046×10^{-6}
Libras/1000 pies cúbicos	Miligramos/metros cúbicos	16.018×10^3
	Gramos/pies cúbicos	0.35314
	Microgramos/metros cúbicos	16.018×10^6
	Gramos/metros cúbicos	16.018
	Microgramos/pies cúbicos	353.14×10^3

FACTORES DE CONVERSION PARA LAS MEDICIONES COMUNES DE LA CONTAMINACION DEL AIRE

MUESTREO DE PRESIÓN

Para Convertir de...	A...	Multiplicar por...
Milímetros de Hg (0°C)	Pulgadas de agua (60°F)	0.5358
Pulgadas de Hg (0°C)	Pulgadas de agua (60°F)	13.609
	Milímetros de Hg (0°C)	1.8663
Pulgadas de agua (60°F)	Pulgadas de Hg (0°C)	73.48×10^{-3}

GASES ATMOSFERICOS

Para Convertir de...	A...	Multiplicar por...
Miligramos/metros cúbicos	Microgramos/metros cúbicos	1000.0
	Microgramos/litro	1.0
	ppm por volumen (20°C)	24.04/m
	ppm por peso	0.8347
	Libras/pies cúbicos	62.43×10^{-9}
Microgramos/metros cúbicos	Miligramos/metros cúbicos	0.001
	Microgramos/litro	0.001
	ppm por volumen (20°C)	0.02404/m
	ppm por peso	834.7×10^{-6}
	Libras/pies cúbicos	62.43×10^{-12}
Microgramos/litro	Miligramos/metros cúbicos	1.0
	Microgramos/metros cúbicos	1000.0
	ppm por volumen (20°C)	24.04/m
	ppm por peso	0.8347
	Libras/pies cúbicos	62.43×10^{-9}
ppm por volumen (20°C)	Miligramos/metros cúbicos	M/24.04
	Microgramos/metros cúbicos	M/0.02404
	Microgramos/litro	M/24.04
	ppm por peso	M/28.8
	Libras/pies cúbicos	$M/385.1 \times 10^6$

Para Convertir de...	A...	Multiplicar por...
ppm por peso	Miligramos/metros cúbicos	1.198
	Microgramos/metros cúbicos	1.198×10^{-3}
	Microgramos/litro	1.198
	ppm por volumen (20°C)	28.8/m
	Libras/pies cúbicos	7.48×10^{-6}
Libras/pies cúbicos	Miligramos/metros cúbicos	16.018×10^6
	Microgramos/metros cúbicos	16.018×10^9
	Microgramos/litro	16.018×10^6
	ppm por volumen (20°C)	$385.1 \times 10^6/m$
	ppm por peso	133.7×10^3

M = Peso molecular del gas.

VELOCIDAD

Para Convertir de...	A...	Multiplicar por...
Metros/seg	Kilómetros/hr	3.6
	Pies/seg	3.281
	Millas/hr	2.237
Kilómetros/hr	Metros/seg	0.2778
	Pies/seg	0.9113
	Millas/hr	0.6214
Pies/seg	Metros/seg	0.3048
	Kilómetros/hr	1.09728
	Millas/hr	0.6818
Millas/hr	Metros/seg	0.4470
	Kilómetros/hr	1.6093
	Pies/seg	1.4667

PRESION ATMOSFERICA

Para Convertir de...	A...	Multiplicar por...
Atmósferas	Milímetros de Hg	760.0
	Pulgadas de Hg	29.92
	Millibares	1013.2

Para Convertir de...	A...	Multiplicar por...
Milímetros de Hg	Atmósferas	1.316×10^{-3}
	Pulgadas de Hg	39.37×10^{-3}
	Milibares	1.333
Pulgadas de Hg	Atmósferas	0.03333
	Milímetros de Hg	25.4005
	Milibares	33.35
Milibares	Atmósferas	0.00987
	Milímetros de Hg	0.75
	Pulgadas de Hg	0.30

EMISIONES DE VOLUMEN

Para Convertir de...	A...	Multiplicar por...
Metro cúbico/min	Pie cúbico/min	35.314
Pie cúbico/min	Metro cúbico/min	0.0283

FACTORES DE CONVERSION DE CALDERA

1 Megawatt = 10.5×10^6 BTU/hr
(8 a 14×10^6 BTU/hr)

1 Megawatt = 8×10^3 lb vapor/hr
(6 a 11×10^3 lb vapor/hr)

1BHP = 34.5 lb vapor/hr

1 BHP = 45×10^3 BTU/hr
(40 a 50×10^3 BTU/hr)

1 lb vapor/hr = 1.4×10^3 BTU/hr
(1.2 a 1.7×10^3 BTU/hr)

En las relaciones:

- Megawatt es la producción neta de energía eléctrica de una planta de generación eléctrica alimentada con vapor.
- BHP es el caballo de fuerza caldera.
- Lb vapor/hr es la tasa de producción de vapor de la caldera.
- BTU/hr es la entrada calorífica en la caldera (basada en el valor calorífico grueso o superior del combustible quemado).
- Para operaciones de caldera menos eficientes (en general más antiguas y/o pequeñas, usar el valor expresado más alto. Para las operaciones más eficientes (en general más nuevas y/o de mayor tamaño), utilizar los valores más bajos.

VOLUME N	Pulgadas Cuadradas	Mililitros	Litros	Onzas (fluidas, EU)	Galones (EU)	Barriles (EU)	Pies Cúbicos
Pulgadas cúbicas		16.3868	.0163868	0.5541	4.3290×10^{-3}	1.37429×10^{-4}	5.78704×10^{-4}
Milímetros	0.061024		0.001	0.03381	2.6418×10^{-4}	8.387^{-6}	3.5316×10^{-5}
Litros	61.024	1000		33.8147	0.26418	8.387×10^{-3}	0.035316
Onzas (fl, EU)	1.80469	29.5729	0.029573		7.8125×10^{-3}	2.48×10^{-4}	1.0443×10^{-3}
Galones (EU)*	231	3785.3	3.7853	128		0.031746	0.13368
Barriles (EU)	7276.5	1.1924×10^5	119.2369	4032.0	31.5		4.2109
Pies cúbicos	1728	2.8316×10^4	28.316	957.568	7.481	0.23743	

¹ Un galón EU de agua a 16.7°C (62°F) pesa 3.780 kg ó 8.337 libras

MASA	Gramos	Kilogramos	Onzas (avoir.)	Libras (avoir.)	Granos	Toneladas (EU)	Miligramos
Gramos		0.001	3.527×10^{-2}	2.205×10^{-3}	15.432	1.102×10^{-6}	1000
Kilogramos	1000		35.274	2.2046	15432	1.102×10^{-3}	1×10^6
Onzas (avoir.)	28.350	0.028350		0.0625	437.5	3.125×10^{-5}	2.8350×10^4
Libras (promedio)*	453.59	0.45359	16.0		7000	5.0×10^{-4}	4.5359×10^5
Granos	0.06480	6.480×10^{-5}	2.286×10^{-3}	1.429×10^{-4}		7.142×10^{-8}	64.799
Toneladas (EU)	9.072×10^5	907.19	3.200×10^4	2000	1.4×10^7		9.0718×10^8
Miligramos	0.001	1×10^{-6}	3.527×10^{-5}	2.205×10^{-6}	0.015432	1.102×10^{-9}	

* Masa de 27.692 pulgadas cúbicas de agua pesadas en aire a 4.0°C, y una presión de 760 Hg mm.

TRABAJO Y ENERGÍA	g. cal	kg. cal	Ergios	Joules	BTU	ft. lb.	kg. metros	L-Atu	HP Horas	ft. poundales	KWW	WH
Gramo Calorías (media)		0.001	4.186×10^7	4.186	3.9680×10^{-3}	3.0874	0.42685	0.041311	1.5593×10^{-6}	99.334	1.1628×10^{-6}	1.1628×10^{-3}
Kilogramo Calorías	1000		4.186×10^{10}	4186	3.9680	3087.4	426.85	41.311	1.5593×10^{-3}	99334	1.162×10^{-3}	1.1628
Ergios	2.3889×10^{-6}	2.3889×10^{11}		1×10^{-7}	9.4805×10^{-11}	7.3756×10^{-8}	1.0197×10^{-8}	9.8689×10^{-10}	3.7251×10^{-14}	2.3730×10^{-6}	2.7778×10^{-14}	2.7778×10^{-11}
Joules	0.23889	2.3889×10^{-4}	1×10^7		9.4805×10^{-4}	0.73756	0.10197	9.8689×10^{-3}	3.7251×10^{-7}	23.730	2.7778×10^{-7}	2.7778×10^{-4}
BTU (media)	251.98	0.25198	1.0548×10^{10}	1054.8		777.98	107.56	10.409	3.9292×10^{-4}	2.5030×10^4	2.930×10^{-4}	0.2930
Pie Libras	0.32389	3.2389×10^{-4}	1.35582×10^7	1.3558	1.2854×10^{-3}		0.13825	0.013381	5.0505×10^{-7}	31.174	3.7662×10^{-6}	3.7662×10^{-4}
Kilogramo metros	2.3427	2.3427×10^{-3}	9.8066×10^7	9.8066	9.2967×10^{-3}	7.2330		0.096781	3.6529×10^{-6}	232.71	2.7241×10^{-6}	2.7241×10^{-3}
Litro Atmósferas (normal)	24.206	2.4206×10^{-2}	1.0133×10^9	101.328	0.09606	74.735	10.333		3.7745×10^{-5}	2404.5	2.8164×10^{-5}	2.8164×10^{-2}
Caballo de fuerza Horas	6.4130×10^5	641.30	2.6845×10^{13}	2.6845×10^6	2454.0	1.9800×10^6	2.7374×10^5	26494		6.3705×10^7	0.7457	745.7
Pie poundales	0.010067	10.067×10^{-6}	4.21402×10^5	0.04214	3.9952×10^{-5}	0.031081	4.2972×10^{-3}	4.1558×10^{-4}	1.5297×10^{-8}		1.17055×10^{-8}	1.17055×10^{-5}
Kilowatt Horas	8.6001×10^5	860.01	3.6000×10^{13}	3.6000×10^6	3413.0	2.6552×10^6	3.6709×10^5	3.5529×10^6	1.3440	8.5430×10^7		1000
Watt Horas	860.01	0.86001	3.6000×10^{10}	3600	3.4130	2655.3	367.09	3.5529×10^3	1.3410×10^{-3}	8.5430×10^1	0.001	

ENERGIA	watts	kw	ft. lb./seg	erg/seg	BTU/min	g.cm/seg	kg.cal/min	HP	Lumens	Joules/seg	BTU/hr.
Watts		0.001	0.73756	1×10^7	0.056884	1.0197×10^4	0.01433	1.341×10^{-3}	668	1	3.41304
Kilowatts	1000		737.56	1×10^{10}	56.884	1.0197×10^7	14.3334	1.3410	6.68×10^5	1000	3413.04
Pie libras /seg	1.35582	1.3558×10^{-3}		1.3558×10^7	0.077124	1.3826×10^4	0.019433	1.8182×10^{-3}	906.28	1.3558	4.6274
Ergios por segundo	1×10^{-7}	1×10^{-10}	7.3756×10^{-8}		5.688×10^{-9}	1.0197×10^{-3}	1.4333×10^{-9}	1.3410×10^{-10}	6.6845×10^{-5}	1×10^{-7}	3.4130×10^{-7}
BTU* por minuto	17.580	0.017580	12.9600	1.7580×10^8		1.7926×10^5	0.2520	0.023575	11751	17.580	60
Gramo Centímetros por segundo	9.806×10^{-5}	9.8067×10^{-8}	7.2330×10^{-5}	980.665	5.5783×10^{-6}		1.4056×10^{-6}	1.3151×10^{-7}	0.065552	9.8067×10^{-5}	3.3470×10^{-4}
Kilogramo colories por minuto	69.767	.069767	51.457	6.9770×10^8	3.9685	7.1146×10^5		0.093557	46636	69.769	238.11
Caballo de fuerza (EU)	745.7	0.7457	550	7.457×10^9	42.4176	7.6042×10^6	10.688		498129	745.7	2545.1
Lumens	1.496×10^{-3}	1.496×10^{-6}	1.0034×10^{-3}	1.496×10^4	8.5096×10^{-5}	15.254	2.1437×10^{-5}	2.0061×10^{-6}		1.496×10^{-3}	5.1069×10^{-3}
Joules por segundo	1	0.001	0.73756	1×10^7	0.056884	1.0197×10^4	0.01433	1.341×10^{-3}	668		3.41304
Btu* por hora	0.29299	2.9299×10^{-4}	0.21610	2.9299×10^6	0.01667	2.9878×10^3	4.1997×10^{-3}	3.9291×10^{-4}	185.80	0.29299	

* Unidades Térmicas Británicas (Media)

FACTORES DE CONVERSION PARA DIVERSAS SUSTANCIAS^a

Tipo de Sustancia	Factores de Conversión
Combustible	
Petróleo	1 bbl = 159 Litros (42 gal)
Gas Natural	1 therm = 100,000 Btu (aprox.25000 kcal)
Contaminantes Gaseosos	
O ₃	1 ppm, volumen = 1960µg/metro cúbico
NO ₂	1 ppm, volumen = 1880µg/metro cúbico
SO ₂	1 ppm, volumen = 2610µg/metro cúbico
H ₂ S	1 ppm, volumen = 1390 µg/metro cúbico
CO	1 ppm, volumen = 1.14 mg/metro cúbico
HC (como metano)	1 ppm, volumen = 0.654 mg/metro cúbico
Productos Agrícolas	
Maíz	1 bu = 25.4 kg = 56 lb
Sorgo	1 bu = 25.4 kg = 56 lb
Avenas	1 bu = 14.5 kg = 32 lb
Cebada	1 bu = 21.8 kg = 48 lb
Trigo	1 bu = 27.2 kg = 60 lb
Algodón	1 bale = 226 kg = 500 lb
Productos Minerales	
Ladrillo	1 brick = 2.95 kg = 6.5 lb
Cemento	1 bbl = 170 kg = 375 lb
Cemento	1 yd ³ = 1130 kg = 2500 lb
Concreto	1 yd ³ = 1820 kg = 4000 lb
Fuentes móviles, eficiencia del combustible	
Vehículos automotores	1.0 mi/gal = 0.426 km/litro
Embarcaciones	1.0 gal/naut mi = 2.05 Litros/km
Líquidos Misceláneos	
Cerveza	1 bbl = 31.5 gal
Pintura	1 gal = 4.5 a 6.82 kg = 10 a 15 lb
Barniz	1 gal = 3.18 kg = 7 lb
Whiskey	1 bbl = 190 Litros = 50.2 gal
Agua	1 gal = 3.81 kg = 8.3 lb

^a Muchos de los factores de conversión en esta tabla representan valores promedio y aproximaciones, y algunos valores pueden variar con la temperatura y presión. Estos factores de conversión deben, sin embargo, tener una precisión suficiente para el uso general en campo.

APENDICE IV-C

**EXTRACTO DEL *PROTOCOLO PARA LA ESTIMACION
DE EMISIONES POR FUGAS EN EL EQUIPO DE 1995***

1995 Protocol for Equipment Leak Emission Estimates

Emission Standards Division

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY
Office of Air and Radiation
Office of Air Quality Planning and Standards
Research Triangle Park, North Carolina 27711

November 1995

not statistically equivalent to the leak rate at a refinery. Therefore, data from the Six-Unit Maintenance Study were used to develop the gas valve average emission factor.

2.2.2.5 Revised SOCFI Emission Factors and Correlations. In 1987 and 1988, screening data were obtained from 19 ethylene oxide and butadiene producers, and, in 1990, bagging data were collected from 16 of these process units. Screening and bagging data were collected from light liquid pumps, gas valves, light liquid valves, and connectors. A specific goal of the program was to bag equipment that had screening values less than 1,000 ppmv. The bagging data were combined with bagging data previously collected in the Six-Unit Maintenance Study, and this combined bagging data set was used to revise the SOCFI correlations. Likewise, the new screening data were combined with screening data previously collected in the 24-Unit Study, and this combined screening data set was used with the revised correlations to generate new SOCFI emission factors.

Appendix B.2 contains more detailed information on how the revised SOCFI correlations and emission factors were developed.

2.3 APPROACHES FOR ESTIMATING EQUIPMENT LEAK EMISSIONS

In this section, each of the approaches for estimating equipment leak emissions are discussed. The description of each approach focuses on the basic method for estimating TOC emissions. Each of the approaches are demonstrated in example calculations contained in appendix A. Special topics at the end of the chapter have been included to address how to estimate VOC emissions when some of the organic compounds in the stream are not classified as VOC's and also how to speciate emissions for individual chemicals from equipment containing a mixture.

2.3.1 Average Emission Factor Approach

One accepted approach for estimating emissions allows use of average emission factors developed by the EPA in combination with unit-specific data that are relatively simple to obtain. These data include: (1) the number of each type of component in a unit (valve, connector, etc.), (2) the service each component is in (gas, light liquid, or heavy liquid), (3) the TOC concentration

TABLE 2-1. SOCMI AVERAGE EMISSION FACTORS

Equipment type	Service	Emission factor ^a (kg/hr/source)
Valves	Gas	0.00597
	Light liquid	0.00403
	Heavy liquid	0.00023
Pump seals ^b	Light liquid	0.0199
	Heavy liquid	0.00862
Compressor seals	Gas	0.228
Pressure relief valves	Gas	0.104
Connectors	All	0.00183
Open-ended lines	All	0.0017
Sampling connections	All	0.0150

^aThese factors are for total organic compound emission rates.

^bThe light liquid pump seal factor can be used to estimate the leak rate from agitator seals.

TABLE 2-3. MARKETING TERMINAL AVERAGE EMISSION FACTORS

Equipment type	Service	Emission factor (kg/hr/source) ^a
Valves	Gas	1.3E-05
	Light Liquid	4.3E-05
Pump seals	Gas	6.5E-05
	Light Liquid	5.4E-04
Others (compressors and others) ^b	Gas	1.2E-04
	Light Liquid	1.3E-04
Fittings (connectors and flanges) ^c	Gas	4.2E-05
	Light Liquid	8.0E-06

^aThese factors are for total organic compound emission rates (including non-VOC's such as methane and ethane).

^bThe "other" equipment type should be applied for any equipment type other than fittings, pumps, or valves.

^c"Fittings" were not identified as flanges or non-flanged connectors; therefore, the fitting emissions were estimated by averaging the estimates from the connector and the flange correlation equations.

F_A = Applicable average emission factor for the equipment type (kg/hr/source);

FOR REFINERIES ONLY: The emission factor " F_A " must be adjusted to account for all organic compounds in the stream because the refinery factors are only valid for non-methane organic compounds (percents up to a maximum of 10 percent by weight methane are permitted):

$$F_A = F_A \times \frac{WF_{TOC}}{WF_{TOC} - WF_{methane}} ;$$

WF_{TOC} = Average weight fraction of TOC in the stream;

$WF_{methane}$ = Average weight fraction of methane in the stream; and

N = Number of pieces of equipment of the applicable equipment type in the stream.

Note that the emission factor " F_A " is defined differently for refineries than for SOCOMI, marketing terminals, or oil and gas production operations when calculating TOC mass emissions. It is necessary to adjust the " F_A " term when applied to refineries, because when the refinery factors were developed, the methane was subtracted out of the organic total. Adjusting the " F_A " term for refineries is a way to correct for this. Two guidelines when correcting the " F_A " term when applied to refineries are as follows:

- The correction should only be applied to equipment containing a mixture of organics and methane; and
- The maximum correction for the methane weight fraction should not exceed 0.10, even if the equipment contains greater than 10 weight percent methane. (This reflects that equipment in the Refinery Assessment Study^{1,2} typically contained 10 weight percent or less methane).

Thus, at a SOCOMI process unit, if there were 100 gas valves in a stream containing, on average, 90 weight percent TOC and 10 weight percent water vapor, emissions would be calculated as follows:

several orders of magnitude. As a result, the majority of total emissions from a population of equipment at any given time will normally occur from a small percentage of the total equipment. The average emission factors account for the span of possible leak rates, but, as a result, they are not necessarily an accurate indication of the mass emission rate from an individual piece of equipment.

Furthermore, the average emission factors do not reflect different site-specific conditions among process units within a source category. Site-specific factors can have considerable influence on leak rates from equipment. Nevertheless, in the absence of screening data, the average emission factors do provide an indication of equipment leak emission rates from equipment in a process unit.

2.3.2 Screening Ranges Approach

The Screening Ranges Approach (formerly known as the leak/no-leak approach) offers some refinement over the Average Emission Factor Approach, thereby allowing some adjustment for individual unit conditions and operation. This approach is included in this section primarily to aid in the analysis of old datasets which were collected for older regulations that used 10,000 ppmv as the leak definition. This approach and the other two remaining approaches require that screening data be collected for the equipment in the process unit. The screening data are an indication of leak rates. When applying this approach, it is assumed that components having screening values greater than 10,000 ppmv have a different average emission rate than components with screening values less than 10,000 ppmv.

This approach may be applied when screening data are available as either "greater than or equal to 10,000 ppmv" or as "less than 10,000 ppmv." Emission factors for SOCFI, refineries, marketing terminals, and oil and gas production operations for these two ranges of screening values are presented in tables 2-5, 2-6, and 2-7, and 2-8, respectively. As with the average factors, the SOCFI, marketing terminal, and oil and gas production operations screening range factors predict total

TABLE 2-6. REFINERY SCREENING RANGES EMISSION FACTORS^a

Equipment type	Service	≥10,000 ppmv Emission factor (kg/hr/source) ^b	<10,000 ppmv Emission factor (kg/hr/source) ^b
Valves	Gas	0.2626	0.0006
	Light liquid	0.0852	0.0017
	Heavy liquid	0.00023	0.00023
Pump seals ^c	Light liquid	0.437	0.0120
	Heavy liquid	0.3885	0.0135
Compressor seals	Gas	1.608	0.0894
Pressure relief valves	Gas	1.691	0.0447
Connectors	All	0.0375	0.00006
Open-ended lines	All	0.01195	0.00150

^aSource: Reference 6.

^bThese factors are for non-methane organic compound emission rates.

^cThe light liquid pump seal factors can be applied to estimate the leak rate from agitator seals.

TABLE 2-8. OIL AND GAS PRODUCTION OPERATIONS SCREENING RANGES
EMISSION FACTORS

Equipment type	Service ^b	≥10,000 ppmv Emission factor (kg/hr/source) ^a	<10,000 ppmv Emission factor (kg/hr/source) ^a
Valves	Gas	1.1E-01	7.9E-04
	Heavy Oil	NA	8.4E-06
	Light Oil	1.1E-01	9.0E-04
	Water/Oil	NA	9.8E-05
Pump seals	Gas	NA	2.4E-03
	Heavy Oil	NA	NA
	Light Oil	1.6E-01	6.7E-03
	Water/Oil	NA	2.4E-05
Others ^c	Gas	1.1E-01	3.8E-03
	Heavy Oil	NA	3.2E-05
	Light Oil	9.5E-02	4.0E-03
	Water/Oil	3.4E-03	1.4E-02
Connectors	Gas	2.4E-02	8.4E-05
	Heavy Oil	NA	7.5E-06
	Light Oil	2.5E-02	1.2E-04
	Water/Oil	NA	1.1E-04
Flanges	Gas	7.9E-02	1.9E-04
	Heavy Oil	NA	3.9E-07
	Light Oil	5.1E-02	8.5E-05
	Water/Oil	NA	2.9E-06
Open-ended lines	Gas	7.7E-02	5.2E-04
	Heavy Oil	NA	1.4E-04
	Light Oil	6.2E-02	5.2E-04
	Water/Oil	NA	2.5E-04

^aThese factors are for total organic compound emission rates (including non-VOC's such as methane and ethane) and apply to light crude, heavy crude, gas plant, gas production, and offshore facilities. "NA" indicates that not enough data were available to develop the indicated emission factor.

^bWater/Oil emission factors apply to water streams in oil service with a water content greater than 50%, from the point of origin to the point where the water content reaches 99%. For water streams with a water content greater than 99%, the emission rate is considered negligible.

^cThe "other" equipment type was derived from compressors, diaphragms, drains, dump arms, hatches, instruments, meters, pressure relief valves, polished rods, relief valves, and vents. This "other" equipment type should be applied for any equipment type other than connectors, flanges, open-ended lines, pumps, or valves.

- WP_{methane} = Average weight percent of methane in the stream;
 N_G = Equipment count (specific equipment type) for sources with screening values greater than or equal to 10,000 ppmv;
 F_L = Applicable emission factor for sources with screening values less than 10,000 ppmv (kg/hr/source)

FOR REFINERIES ONLY: The emission factor " F_L " must be adjusted to account for all organic compounds in the stream because the refinery factors are only valid for non-methane organic compounds (percents up to a maximum of 10 percent by weight methane are permitted):

$$F_L = F_L \times \frac{WP_{\text{TOC}}}{WP_{\text{TOC}} - WP_{\text{methane}}} ; \text{ and}$$

- N_L = Equipment count (specific equipment type) for sources with screening values less than 10,000 ppmv.

Assuming all of the organic compounds in the stream are classified as VOC's, the total VOC emission for each stream is calculated as the sum of TOC emissions associated with each specific equipment type in the stream. Section 2.4.6 discusses an adjustment that can be made to predict the VOC emission rate if some of the organic compounds in the stream are not classified as VOC's (such as methane and ethane).

The screening range emission factors are a better indication of the actual leak rate from individual equipment than the average emission factors. Nevertheless, available data indicate that measured mass emission rates can vary considerably from the rates predicted by use of these factors.

2.3.3 EPA Correlation Approach

This approach offers an additional refinement to estimating emissions from equipment leaks by providing an equation to predict mass emission rate as a function of screening value for a particular equipment type. Correlations developed by the EPA relating screening values to mass emission rates for SOCM

APENDICE IV-D

**EJEMPLO DE LISTA DE REVISION DE CONTROL
DE CALIDAD**

EJEMPLO DE LA LISTA DE REVISION DE CONTROL DE CALIDAD

Revisiones del Grado en que la Información Está Completa - Fuentes Puntuales	Sí	No	Comentarios
¿Todas las fuentes puntuales de COVs aplicables han sido incluidas en el inventario?			
¿Todos los datos a nivel de proceso, punto y segmento han sido proporcionados para todas las fuentes puntuales de COVs?			
¿Todos los datos de la documentación a nivel de proceso, punto y segmento han sido proporcionados para las fuentes de NO _x y CO?			
¿El Inventario Anual de Emisiones ha sido firmado por la autoridad pertinente, quien asumirá la responsabilidad legal de la precisión de la información verificada en el reporte ante el estado?			
¿La siguiente información ha sido proporcionada en el reporte (a la entidad reguladora), y es precisa: fuente, direcciones, información sobre el contacto, y código(s) de clasificación del proceso industrial)?			
Revisiones de los Procedimientos	Sí	No	Comentarios
¿Se ha hecho una copia del inventario y del reporte que se está enviando por correo a la entidad regulatoria?			
¿La documentación del inventario describe la metodología usada para desarrollar el listado del inventario de fuentes puntuales (i. e., estudio, inspecciones de planta, datos del monitoreo continuo de emisiones, datos del análisis de combustibles, datos del modelado de la calidad del aire y archivos de los permisos)?			
La documentación del inventario de fuentes puntuales incluye al contacto (s) para aclaraciones?			
Seleccionar un subconjunto que represente cuando menos el 10 por ciento de las fuentes puntuales enlistadas y determinar si los siguientes datos han sido recopilados y presentados para cada una de ellas.			
<i>Nota: Registrar en la columna de comentarios el número de registro de las plantas que fueron revisadas.</i>			
• Nombre y ubicación de la planta (incluyendo latitud, longitud, CP)			
• Calendario de operación			
• Reglamentos aplicables			
• Zona UTM			
• Código o número CAS del contaminante			
• ID de la chimenea (para datos de fuentes puntuales)			
• Limitaciones de emisión (sólo si están sujetas a la regulación del INE)			
• Año de cumplimiento (sólo si están sujeto a la regulación del INE)			
• Tasa y unidades del proceso diario			
• Tipo de equipo de control			
• Eficiencia de Control			
• Método de estimación de emisiones			
• Factores de emisión			

Revisiones de la Coherencia de la Información	Sí	No	Comentarios
Si la fuente puntual de emisiones de COVs son atribuidas a la industria manufacturadora de sustancias químicas orgánicas sintéticas/IMSQOS), las emisiones fugitivas también han sido cuantificadas?			
<i>Nota: Las emisiones fugitivas por fugas en el equipo deben ser de 1 a 10 veces mayores que las emisiones de respiraderos, reactores, etc.</i>			
¿Los siguientes elementos de los datos se encuentran dentro de los siguientes límites para los datos generales de las fuentes puntuales?			
• Horas diarias ≤ 24			
• Días por semana ≤ 7			
• Horas anuales = horas x días			
• Rendimientos estacionales 0 - 100			
• Capacidad de la caldera del 80 - 120 por ciento si la tasa por hora máxima se multiplica por el contenido calorífico del combustible			
• ¿El porcentaje de calor espacial para el invierno es mayor que en el verano?			
• Los siguientes elementos de los datos se encuentran dentro de los siguientes límites para los datos de contaminantes puntuales?			
• Altura de la chimenea > 50 ft			
• Diámetro de la chimenea $0.5 > 30$ ft			
• Altura de la pluma > 200 ft			
• Temperatura de salida de los gases $60 > 2,000^{\circ}\text{F}$			
• Temperatura de salida de los gases con lavador húmedo $> 250^{\circ}\text{F}$			
• Temperatura de salida de los gases sin lavador húmedo $> 250^{\circ}\text{F}$			
• Tasa de salida de flujo del gas es igual a capacidad x temperatura			
• Velocidad de salida del gas			
Los siguientes elementos de los datos se encuentran dentro de los límites para siguientes los datos generales de segmento?			
• Unidades de la tasa por hora del proceso < 10 por ciento > 125 por ciento x la máxima capacidad de diseño			
• Para los equipos de control, ¿la eficiencia es entre 0 - 100 por ciento?			

EJEMPLO DE LAS FORMAS DE INSTRUCCIONES PARA LA RECOPIACION DE DATOS - OPERACIONES DE RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES

1. Esta forma puede ser utilizada como hoja de trabajo para ayudar al ingeniero de planta a recopilar la información necesaria para calcular las emisiones de cada operación de recubrimiento de superficies. La información solicitada en las formas se relaciona con los diferentes métodos para cuantificar las emisiones. Esta forma también puede ser utilizada por la entidad regulatoria para ayudar en la elaboración de un inventario a nivel de área.
2. Las formas llenas deben ser mantenidas por el ingeniero de planta en un archivo de referencia junto con otra documentación de apoyo.
3. Si la información solicitada es desconocida, escribir "desconocida" en el espacio correspondiente. Si la información solicitada no es aplicable a un proceso o unidad particular, escribir NA en el espacio.
4. Si la información sobre el uso por hora o mensual del material no está disponible, registrar la información en otra unidad (trimestral o anual). Asegurarse de indicar la unidad de medición en la forma.
5. Usar el campo de comentarios en la forma para registrar toda la información útil que permitirá que su trabajo sea revisado y repetido. Recopilar todas las Hojas de Datos de Seguridad del Material (MSDS, por sus siglas en inglés) para todos los materiales que contengan contaminantes potenciales del aire y que sean utilizados en el establecimiento.
6. Recopilar todas las Hojas de Datos de Seguridad del Material (MSDS, por sus siglas en inglés) para todos los materiales que contengan contaminantes potenciales del aire y que sean utilizados en el establecimiento.
7. Para cada material utilizado, determinar las tasas máximas de uso por hora, así como las tasas de uso anual.
8. El ingeniero de planta debe mantener toda la información sobre el uso de materiales y las MSDSs en un archivo de referencia.

**EJEMPLO DE LA FORMA PARA LA RECOPIACION DE DATOS - OPERACIONES DE
RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES**

INFORMACION GENERAL

Nombre del Establecimiento o Planta:

Descripción del Establecimiento:

Ubicación:

Municipio:

Ciudad:

Estado:

Coordenadas Geográficas de la Planta:

Latitud: _____

Longitud: _____

Zona UTM: _____

UTM Este: _____

UTM Norte: _____

Nombre del Contacto:

Puesto:

Teléfono:

Número de ID de la Unidad:

Número del Permiso:

**EJEMPLO DE LA FORMA PARA LA RECOPIACION DE DATOS - OPERACIONES DE
RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES**

INFORMACION SOBRE EL EQUIPO Y PROCESO	COMENTARIOS	
Nombre o descripción del equipo:		
Fabricante:		
Modelo:		
Capacidad nominal del equipo:		
Tipo de Operación:		
Recubrimiento de superficies:		
Secador:		
Prensa litográfica:		
Otro:		
Tipo de equipo para esta operación:		
Recubrimiento por inmersión:		
Prensa tipográfica:		
Otro:		
Fraccionamiento de la evaporación de la aplicación o secado (%)		
Uso típico:		
Horas/día:		
Días/semana:		
Semanas/año:		
Variaciones estacionales (%):		
Enero:	Febrero:	Marzo:
Abril:	Mayo:	Junio:
Julio:	Agosto:	Septiembre:
Octubre:	Noviembre:	Diciembre:

**EJEMPLO DE LA FORMA PARA LA RECOPIACION DE DATOS - OPERACIONES DE
RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES**

INFORMACION SOBRE EL MATERIAL

COMPOSICION DEL MATERIAL

Nombre del Material: _____

Contenido de COVs (lb/gal ó % en peso): _____

Contenido de sólidos (% en peso): _____

Densidad del Material: _____

Composición (lb_x/lb material * 100%:

- Nombre del componente: _____

- % en peso del componente: _____

USO DEL MATERIAL

Rendimiento por hora: _____

Rendimiento mensual: _____

Rendimiento anual: _____

Rendimiento máximo: _____

OPERACIONES DE RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES

Tipo de recubrimiento (tinta, primer, pintura, etc.): _____

Sustrato recubierto (madera, metal, etc.): _____

Nombre de la mezcla (para recubrimientos de partes múltiples): _____

Marca y Nombre del Producto (para cada parte de la mezcla de recubrimiento): _____

Proporciones de las Mezclas de Recubrimiento: _____

% de COVs Evaporados como Fugitivos: _____

Factor de Emisión Particulado: _____

- Referencia

HOJA DE TRABAJO A
DESCRIPCION DEL SOLVENTE

Composición del Solvente	Uso Anual (gal/año)	Porcentaje del Total de Solventes Enlistados	Peso Molecular (lb/lb _{mole})	Densidad del Líquido (lb/gal)
Total				
Meso Molecular del Solvente (promedio pesado), (M _i)			(lb/lb _{mole})	
Densidad del Solvente Líquido (promedio pesado), (d _i)			(lb/lb _{mole})	

$$Y = \sum_{i=1}^n (x_i * y_i)$$

Donde

Y = Peso molecular promedio pesado (M_i) o densidad del líquido (d_i)

y_i = Peso molecular (M_i) o densidad del líquido (d_i) para el COV_i

x_i = Fracción del solvente total para el COV_i

n = Número de especies de COVs en el(los) solvente(s)

**HOJA DE TRABAJO B
CABINAS DE ASPERSION**

Horas anuales de operación de esta cabina:							
CARACTERISTICAS DE LA CORRIENTE DE GAS DE SALIDA							
Tasa de Flujo (acfm)		Chimenea de Salida			Altura del Edificio (ft)	Carga de Partículas del Equipo de Abatimiento (lb/hr)	
Máximo de Diseño	Promedio Esperado	Temperatura a °F	Altura (ft)	Diámetro (ft)		Entrada	Salida
TIPO DE RECUBRIMIENTO Y TASA MAXIMA DE USO							
Tipo		Tasa Máx. de Uso (lb/hr)		Tasa Máx. de Uso (ton/año)		Porción Volátil (% en peso)	
Laca							
Barniz							
Esmalte							
Primer							
Metálico							
Spray							
Metálico							
Resina							
Sellador							
Goma laca							
Tinta							
Zinc							
Cromado							
Epóxico							
Poliuretano							
Otro							
COMPOSICION DEL SOLVENTE Y TASA DE USO (INCLUYE EL PROPORCIONADO CON EL RECUBRIMIENTO)							
Composición Química de los Volátiles y Peso (%)				Tasa Máx. de Uso (lb/hr)		Tasa Máx. de Uso (ton/año)	
TIPO DE EQUIPO DE ABATIMIENTO DE PM							
<input type="checkbox"/> Cámara de Aspersión (uso de agua gal/hr): _____ <input type="checkbox"/> Cortina de Agua (uso de agua gal/hr) : _____ <input type="checkbox"/> Cojinetes del Filtro Seco (número total en todas las capas) (tamaño) : _____ <input type="checkbox"/> Otro (explicar) : _____ <input type="checkbox"/> Tasa del Fabricante para la Eficiencia de Control de PM: _____							
<input type="checkbox"/> TIPO DE EQUIPO DE ABATIMIENTO DE COVs							
Tipo				Eficiencia Nominal de Control			

HOJA DE TRABAJO B
(Continuación)

METODO DE ASPERSION	DESCRIPCION DE LOS ARTICULOS A SER RECUBIERTOS (TAMAÑO Y FORMA)
<input type="checkbox"/> Atomización de aire <input type="checkbox"/> Electrostático sin aire <input type="checkbox"/> Disco <input type="checkbox"/> Sin aire <input type="checkbox"/> Aire atomizado <input type="checkbox"/> Otro:	

RESULTADOS DE LA ESTIMACION DE EMISIONES - OPERACIONES DE RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES

Contaminante	ID de la Operación de Recubrimiento^a	Método de Estimación de Emisiones^b	Emisiones	Unidades de Emisión	Factor de Emisión^c	Unidades del Factor de Emisión	Galones de Recubrimient o Aplicados	Comentarios
VOC								
NO _x								
CO								
SO ₂								
PM ₁₀								
Partículas Totales								
Contaminantes Peligrosos del Aire (CPA) (enlistar individualmente)								

^a Usar los siguientes códigos para indicar el tipo de operación utilizada:

RS = Recubrimiento de Superficies

S= Secador

PL = Prensa Litográfica

O = Otro

^b Usar los siguientes códigos para indicar qué método de estimación fue utilizado para cada contaminante:

Balance de masa = BM

Factor de emisión = FE

Prueba de Fuente en Chimenea = PF

Otro (indicar) = O

^c Cuando sea aplicable, registrar el factor de emisión y proporcionar la cita completa de la referencia o fuente de información de donde proviene el factor de emisión. Si se utilizó el AP-42, incluir edición, versión, tabla y número de página.

EJEMPLO DE LAS FORMAS DE INSTRUCCIONES PARA LA RECOPIACION DE DATOS - CALDERAS

1. Esta forma puede ser utilizada como hoja de trabajo para ayudar al ingeniero de planta a recopilar la información necesaria para calcular las emisiones las calderas. La información solicitada en las formas se relaciona con los diferentes métodos para cuantificar las emisiones. Esta forma también puede ser utilizada por la entidad regulatoria para ayudar en la elaboración de un inventario a nivel de área.
2. Las formas llenas deben ser mantenidas por el ingeniero de planta en un archivo de referencia junto con otra documentación de apoyo.
3. La información identificada en estas formas es necesaria para generar un inventario de emisiones completo. Si la información solicitada no es aplicable a una caldera particular, escribir NA en el espacio.
4. Si la capacidad nominal no está documentada en MMBtu/hr, por favor, registre la capacidad en corriente producida lb/hr, u otras unidades de medición pertinentes.
5. Si la información sobre el uso por hora o mensual del material no está disponible, registrar la información en otra unidad (trimestral o anual). Asegurarse de indicar la unidad de medición en la forma
6. Usar el campo de comentarios en la forma para registrar toda la información útil que permitirá que su trabajo sea revisado y repetido.

EJEMPLO DE LA FORMA PARA LA RECOPIACION DE DATOS - CALDERAS

INFORMACION GENERAL

Nombre del Establecimiento o Planta: _____

Descripción del Establecimiento:

Generación de Servicios Públicos: _____

Comercial: _____

Industrial: _____

Ubicación: _____

Municipio: _____

Ciudad: _____

Estado: _____

Coordenadas Geográficas de la Planta:

Latitud: _____

Longitud: _____

Zona UTM: _____

UTM Este: _____

UTM Norte: _____

Nombre del Contacto: _____

Puesto: _____

Teléfono: _____

Número de ID de la Unidad: _____

Número del Permiso: _____

EJEMPLO DE LA FORMA PARA LA RECOPIACION DE DATOS - CALDERAS

INFORMACION DE LA FUENTE	COMENTARIOS
ID de la Unidad:	
Fabricante:	
Fecha de Instalación:	
Capacidad Nominal (unidades):	
Entrada Calorífica Máxima (unidades):	
Tipo de Combustible:	
Calendario de Operación:	
Horas/día:	
Días/semana:	
Semanas/año:	
USO DE COMBUSTIBLE^a:	
Año:	
Uso Máximo de Combustible por Hora (unidades):	
Uso Mensual de Combustible (unidades):	
Enero:	Julio:
Febrero:	Agosto:
Marzo:	Septiembre:
Abril:	Octubre:
Mayo:	Noviembre:
Junio:	Diciembre:
Uso Anual Total de Combustible (unidades):	

^a Esta forma debe ser llenada para cada tipo de combustible utilizado.

EJEMPLO DE LA FORMA PARA LA RECOPIACION DE DATOS - CALDERAS

CONFIGURACION DE LA ALIMENTACION (marcar el tipo apropiado)

Alimentación Tangencial	<input type="checkbox"/>	Alimentación Horizontal	<input type="checkbox"/>	Alimentación Vertical	<input type="checkbox"/>	Alimentación con Carbón pulverizado	<input type="checkbox"/>
Fondo Seco	<input type="checkbox"/>	Fondo Húmedo	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Horno de Ciclón	<input type="checkbox"/>						
Cargador de Propagación	<input type="checkbox"/>	No Controlado	<input type="checkbox"/>			Controlado	<input type="checkbox"/>
Cargador de Sobrealimentación	<input type="checkbox"/>	No Controlado	<input type="checkbox"/>			Controlado	<input type="checkbox"/>
Cargador <i>Underfired</i>	<input type="checkbox"/>	No Controlado	<input type="checkbox"/>			Controlado	<input type="checkbox"/>
Unidades de Alimentación Manual	<input type="checkbox"/>						

EQUIPO DE CONTROL DE LA CONTAMINACION (Registrar la eficiencia de control y la fuente de información):

ESP: _____

Casa de Bolsas: _____

Lavador Húmedo: _____

Lavador Seco: _____

Secador de Spray: _____

Ciclón: _____

Otro: _____

EJEMPLO DE LA FORMA PARA LA RECOPIACION DE DATOS - CALDERAS

ANALISIS DE COMBUSTIBLE

COMENTARIOS

Contenido de Azufre (S):

Contenido de Cenizas:

Contenido de Nitrógeno (N):

Contenido de Plomo (Pb):

Mercurio (Hg):

Otros:

Valor Calorífico Superior (HHV en Btu/lb):

Referencia (anexar análisis, si es factible):

INFORMACIÓN DE LA CHIMENEA

ID de la Chimenea:

ID de la Unidad:

Altura (pies) de la Chimenea (emisión):

Diámetro de la Chimenea (pulgadas):

Temperatura del Gas de la Chimenea (°F)

Velocidad del Gas de la Chimenea (ft/sec):

Tasa de Flujo del Gas de la Chimenea (ascf/min):

¿Esta chimenea es compartida por otras fuentes? (S/N)? (En caso afirmativo, incluir las IDs de cada una de las unidades).

¿El reporte del muestreo en fuente específico en sitio para la chimenea está disponible? (S/N):

Referencia (incluir las citas completas de los reportes de pruebas utilizadas):

EJEMPLO DE LA FORMA PARA LA RECOPIACION DE DATOS - CALDERAS

ID de la Unidad: _____
 Tipo de Combustible: _____

Contaminante	Método de Estimación de Emisiones ^a	Emisiones	Unidades de las Emisiones	Factor de Emisión ^b	Unidades del Factor de Emisiones	Comentarios
COVs						
NO _x						
CO						
SO ₂						
PM ₁₀						
Partículas Totales						
Contaminantes Peligrosos del Aire (enlistados individualmente)						

^a Usar los siguientes códigos para indicar qué tipo de método de estimación de emisiones es utilizado para cada contaminante:

Factor de Emisiones = FE
 Datos de Prueba de Fuente en Chimenea = PFC
 Balance de Masa = BM
 Análisis de Combustible= AC
 Otros (indicar) = O

^b Cuando sea aplicable, registrar el factor de emisión y proporcionar la cita completa de la referencia o fuente de información de donde proviene el factor de emisión. Si se utilizó el AP-42, incluir edición, versión, tabla y número de página.

EJEMPLO DE LAS FORMAS DE INSTRUCCIONES PARA LA RECOPIACION DE DATOS - EMISIONES FUGITIVAS DE FUGAS EN EL EQUIPO

1. Esta forma puede ser utilizada como hoja de trabajo para ayudar a recopilar la información o datos necesarios para estimar las emisiones de Contaminantes Peligrosos del Aire (CPAs) y COVs de las fugas en el equipo.
2. La forma se divide en cinco secciones: Información General, Datos de Composición de la Corriente; Cuentas del Equipo; Datos de Selección; y Controles de Fugas en el Equipo.
3. Algunas secciones requieren entradas con base en una corriente. En este caso, será necesario hacer una copia de la sección por separado para cada corriente en la unidad de proceso.
4. Para la sección de los datos de composición de la corriente, los porcentajes en peso pueden no ser proporcionados para los componentes que se encuentren en concentraciones menores que 1.0 por ciento en peso.
5. Para la sección de los datos de composición de la corriente, en el renglón titulado "OTROS", identificar el porcentaje total en peso de todos los componentes no enlistados previamente. Esta cifra no debe exceder el 10 por ciento. El porcentaje total en peso de todos los componentes en la corriente debe ser igual a 100 por ciento.
6. Para la sección de datos de selección, llenar la información o datos para cada corriente seleccionada.
7. Para la sección de cuenta del equipo, responder las preguntas y llenar la tabla para cada corriente en el establecimiento.
8. Para la sección de cuenta del equipo, la concentración de activación de la Detección y Reparación de Fugas (DYRF) se refiere al nivel de concentración en la que se considera que el componente se está fugando.
9. Para la sección de cuenta del equipo, registrar los parámetros de control para cada tipo de componente en la corriente. Registrar el porcentaje del tipo de equipo total en la corriente que tiene los controles enlistados en la Tabla IV-1.
10. Para la sección de cuenta de equipo, si se utilizara otro tipo de controles, especificarlos en el espacio a la izquierda del guión.
11. Para la sección de cuenta del equipo, indicar cualesquier equipos de control secundarios a los que el sistema de venteo cerrado transporte el fluido del proceso.

**EJEMPLO DE LAS FORMAS DE INSTRUCCIONES PARA LA RECOPIACION
DE DATOS - EMISIONES FUGITIVAS DE FUGAS EN EL EQUIPO**

INFORMACION GENERAL						
Capacidad de la Unidad de Proceso (lb/año)						
Instrumento Portátil para el Monitoreo de COVs Utilizado ^a						
Gas de Calibración del Instrumento de Monitoreo ^a						
DATOS DE COMPOSICION DE LA CORRIENTE						
Número CAS	Nombre Químico	Concentración (% en peso)				
		Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 4	Corriente 5
--	Otro					
--	CPA Totales					
--	COVs Totales					
--	Fuente ^b					
Cantidad del Fluido Tiempo en la Corriente (hr/año)						

^a Recopilar información si los datos de selección han sido reunidos en la unidad de proceso.

^b JI = Juicio Ingenieril DP= Datos de Prueba; VL = Valores de la Literatura.

**EJEMPLO DE LAS FORMAS DE INSTRUCCIONES PARA LA RECOPIACION
DE DATOS - EMISIONES FUGITIVAS DE FUGAS EN EL EQUIPO**

CUENTA DEL EQUIPO					
Componente	Servicio	Fuente de Cuenta ^b	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3
Válvulas	gas/vapor				
	Líquido ligero				
	Líquido pesado				
Conectores	Todos				
Bombas	Líquido ligero				
	Líquido pesado				
Compresor	gas/vapor				
Líneas abiertas	Todos				
Conexiones de muestreo	Todos				
Válvula de Alivio de Presión	gas/vapor				

^a No incluye equipo en servicio de vacío.

^b D = Especificaciones de Diseño; I = Etiquetas de inspección y mantenimiento; C = Cuenta Real; R = Relación, si es específica (i. e., 25 válvulas por bomba).

EJEMPLO DE LAS FORMAS DE INSTRUCCIONES PARA LA RECOPIACION DE DATOS - EMISIONES FUGITIVAS DE FUGAS EN EL EQUIPO

CONTROLES DE FUGAS EN EL EQUIPO									
ID de la Corriente:									
¿El equipo en esta corriente está sujeto a un programa DYRF? (Sí/No)									
Tipo de Sistema de Monitoreo ^a :									
Equipo	Parámetros de Detección y Reparación de Fugas				Parámetros de Control				
	Cantidad en Programa	Conc. de Activación DYRF	Frecuencia de Monitoreo	Tiempo de Respuesta ^b	Porcentaje con Control A ^c	Porcentaje con Control B ^c	Porcentaje con Control C ^c	Otro	Control Secundario de Venteo Cerrado
Válvulas							NA	/	
Bombas								/	
Compresores							NA	/	
Conectores						NA	NA	/	
Líneas Abiertas							NA	/	
Conexiones de Muestreo	NA	NA	NA	NA				/	
Presión en Válvulas de Alivio							NA	/	

NA = No Aplicable

^a V = Visual; P = Portátil; F = Punto Fijo; por favor, especificar si fuera otro.

^b IM = Inmediatamente; D = 1 día; D3 = 3 días; SM = 1 semana; SM2 = 2 semanas; M = 1 mes.

^c Ver Tabla IV-1 (Controles por Tipo de Equipo).

**TABLA IV-1
CONTROLES POR TIPO DE EQUIPO**

Opciones de Control	Equipo	Controles
A	Todos	Sistema de venteo cerrado
B	Válvulas Bombas Compresores Líneas de extremo abierto Conexiones de muestreo PRV's	Sin sello Sello mecánico dual con barrera de fluidos ^a Tapones, conectores, bridas ciegas. Muestreo <i>in-situ</i> Disco de ruptura
C	Bombas Conexiones de muestreo	Sin sello Muestreo en circuito cerrado

Acknowledgments

The *Mexico Emissions Inventory Program Manuals* were the result of efforts by several participants. The Binational Advisory Committee (BAC) guided the development of these manuals. The members of the BAC were:

Dr. John R. Holmes, State of California Air Resources Board
Mr. William B. Kuykendal, U.S. Environmental Protection Agency
Mr. Gary Neuroth, Arizona Department of Environmental Quality
Dr. Victor Hugo Páramo, Instituto Nacional de Ecología
Mr. Gerardo Rios, U.S. Environmental Protection Agency
Mr. Carl Snow, Texas Natural Resource Conservation Commission

The Western Governors' Association (WGA) was the lead agency for this project. Mr. John T. Leary was the WGA Project Manager. Funding for the development of the workbook was received from the United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Radian International prepared the manuals under the guidance of the BAC and WGA.